



# **Variació del nivell del mar a la Península Ibèrica durant l'últim segle**

Llicenciatura de Ciències Ambientals  
Memòria del Projecte Final de Carrera  
Setembre del 2012

Autor:  
Joan Pascual Montañés

Tutors:  
Dr. Jordi Garcia Orellana  
Dr. Joan Albert Sánchez Cabeza

## Agraïments

*Agraisc els consells i el suport dels directors del projecte durant tot el procés d'elaboració del projecte, per fer possible la realització d'aquest projecte . Al Dr. Joan Albert Sánchez, primerament, per donar-me la oportunitat per poder fer un projecte d'aquesta temàtica, i també perquè tot i ser a Mèxic ha sabut com dirigir i orientar-me via correu electrònic i al Dr. Jordi Garcia Orellana, per les indicacions i suport prestats en persona durant la estadia de la Beca al LRA, i igualment a tots els companys de laboratori que m'han ajudat puntualment; i el suport acadèmic i moral del àmics i família.*

*A tots ells, també agraïments pels consell que fora de l'àmbit d'aquest projecte, de segur em seran útils en un futur.*

*"Manteniu-lo lluny del paper, ploma i tinta; així podrà deixar d'escriure y aprendrà a pensar"*

Proverbi anglès

# ÍNDEX

Agraïments.

Índex.

Índex de Taules

Índex de Figures

## Capítol 1: Antecedents.

1.1 Evidències del Canvi climàtic.....	7
1.2 Canvi en el nivell del mar.....	8
1.2.1 Nivell mitjà del mar.....	9
1.2.2 Variabilitat del nivell del mar.....	9
1.2.3 Evolució global fins l'actualitat.....	10
1.2.4 Canvi actual a escala global.....	11
1.3 Context geològic de la Península Ibèrica .....	12
1.3.1 Moviments d'escorça.....	12

## Capítol 2: Objectius.

2.1 Objectiu general.....	15
2.2 Objectius específics.....	15

## Capítol 3: Metodologia.

3.1 Zona d'estudi.....	17
3.2 Informació Mareogràfica.....	17
3.3 Estacions d'estudi.....	17
3.3.1 Dades mareogràfiques.....	19
3.3.1.1 Correlacions i selecció d'estacions.....	19
3.3.1.2 Revisió de les sèries temporals.....	21
3.3 Tendències i tractament estadístic.....	23
3.3.1 Valors extrems (Outliers).....	23
3.3.2 Mitjana mòbil (Sliding Mean).....	23
3.3.3 Regressions i significació estadística.....	24

## Capítol 4: Resultats.

4.1 Tendències per estacions.....	27
4.2 Tendències regionals i globals.....	31

4.3 Tendències al període 1997 - 2009.....	35
Capítol 5: Discussió.....	
5.1 Tendències observades.....	39
5.2 Comparativa amb els valors publicats.....	41
5.3 Projeccions del nivell del mar futur.....	42
5.4 impactes a les costes ibèriques i catalanes.....	43
Capítol 6: Conclusions.....	47
Capítol 7: Prespectives futures del treball.....	49
Pressupost .....	51
Acrònims.....	52
Pla de treball.....	53
Bibliografia.....	54
Annex.....	57

# Índex de Taules

## Metodologia

Taula 3.1: Relació d'estacions estudiades.....	18
Taula 3.2: Relació d'estacions seleccionades.....	21
Taula 3.3: Exemple regressió CASCAIS.....	25

## Resultats

Taula 4.1: Caracterització estadística de les estacions seleccionades.....	28
Taula 4.2: Tendències lineals a cada estació .....	29
Taula 4.3: Tendències quadràtiques per estació .....	31
Taula 4.4: Tendències lineals regionals i global.....	32
Taula 4.5: Tendències quadràtiques regionals i global.....	33
Taula 4.6: Tendències lineals regionals i global (1943-2009).....	33
Taula 4.7: Tendències quadràtiques regionals i global (1943-2009).....	34
Taula 4.8: T. lineals individuals, regionals i global (1997-2009).....	35
Taula 4.9: T. quadràtiques individuals, regionals i global (1997-2009).....	37

## Discussió

Taula 5.1: Projeccions de l'augment del nivell del mar (final s.XXI).....	41
Taula 5.2: Projeccions per 2050 i 2100 de l'augment del nivell del mar.....	43

# Índex de Figures

## Antecedents

Figura 1.1: Concentració de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> i N <sub>2</sub> O durant l'últim mil·leni.....	9
Figura 1.2: Nivell del mar postglacial.....	10
Figura 1.3: Comparació de tres registres del nivell del mar (260 MA).....	11
Figura 1.4: Canvi recent del nivell del mar.....	12
Figura 1.5: Mapa tectònic de la Península Ibèrica.....	13

## Metodologia

Figura 3.1: Mapa de regions i mareògrafs inclosos en aquest estudi.....	19
Figura 3.2: Sèrie temporal CASCAIS.....	24

## Resultats

Figura 1.1: Tendències per estació.....	30
Figura 1.2: Tendències regionals i global.....	32
Figura 1.3: Tendències regionals i global (1943-2009).....	34
Figura 1.4: Tendències lineals individuals, regionals i global (1997-2009).....	36

## Discussió

Figura 5.1: Sèrie temporal CASCAIS (tendències).....	40
--	----

# 1. Antecedents

Els aspectes ambientals que envolten la nostra vida quotidiana, cada cop més, augmenten en importància. El canvi global, i en especial el seu factor climàtic, estan a l'ordre del dia en la premsa, tant és així, que sentim parlar de conceptes relacionats amb aquest canvi a diari. A més a més, l'abast d'aquest fenomen és mundial, molt complex i afecta a nombroses disciplines, com són la sociologia, l'economia, i la política, entre altres. Per aquest motiu, són nombroses les institucions que estan interessades en rebre informació sobre aquests canvis i els impactes que puguin tindre en la societat. Com a conseqüència, es va crear un organisme com a responsable d'avaluar el fenomen i difondre les seves conclusions arreu del món (IPCC, 2007), l'anomenat Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC).

## 1.1 Evidències del canvi climàtic

Entenem el canvi climàtic com la variació en els paràmetres del clima, ja sigui, en l'espai o en el temps. Aquesta variabilitat en les condicions normals del clima es veu condicionada per factors naturals, com els processos oceànics, la radiació solar, processos geològics, a la qual, se suma la variabilitat ocasionada per factors antròpics, de forma directa o indirecta, en períodes de temps comparables (IPCC, 1995). Més recentment, aquesta definició ha segut actualitzada com un canvi identificable en l'estat del clima mitjançant un canvi en el valor mitjà i/o en la variabilitat de les seves propietats durant un període perllongat, tant si es degut a la variabilitat natural com a l'activitat antròpica (IPCC, 2007), que difereix lleugerament a la definició utilitzada en la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMCC).

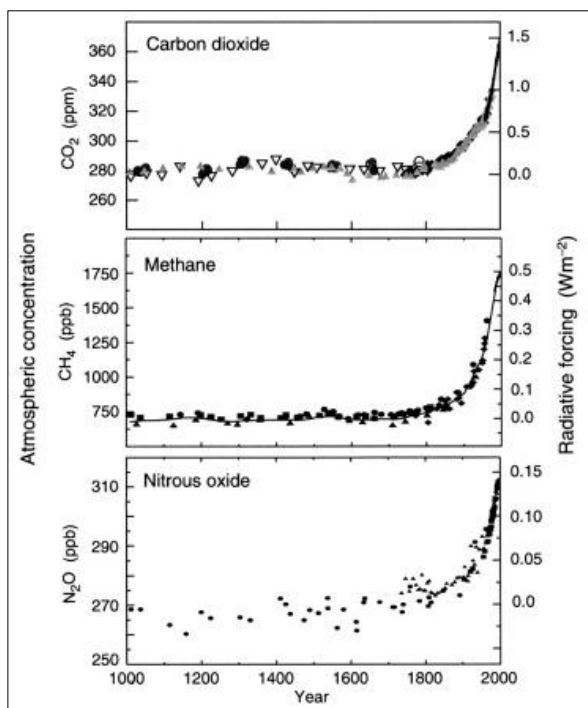
El clima de la Terra es determina pel balanç energètic rebut a la superfície del planeta. Un balanç entre l'energia provinent del Sol i la radiació infraroja emanada per la Terra. No obstant, la capa que filtra tota aquesta energia és l'atmosfera, és per això, que les propietats físiques i químiques de l'atmosfera són el que determinen en l'últim terme el clima terrestre (Lockwood, 1979).

Al llarg de la vida geològica del planeta, el clima ha tingut moltes variacions a causa del que avui en dia coneixem com forçament climàtic. Són processos mitjançant els quals es veu alterat el balanç energètic de la Terra, i que ocasiona variacions en el clima terrestre. Poden ser interns, si s'originen dintre del sistema climàtic, o externs, si l'origen és el Sol, les forces internes de la Terra o l'activitat antròpica.

Variacions en la radiació solar rebuda, moviments dels continents com a conseqüència de la tectònica de plaques, canvis naturals en els 5 subsistemes

climàtics (l'atmosfera, la criosfera, la hidrosfera, la litosfera i la biosfera) entre d'altres, han ocasionat variacions molt importants en el clima terrestre. Més recentment, l'activitat humana s'ha sumat a aquests factors de variabilitat climàtica.

Des d'abans del desenvolupament industrial, les emissions mundials de gasos d'efecte hivernacle (GEH) com a resultat de les activitats antròpiques, han augmentat un 70 % entre 1970 i 2004 (IPCC, 2007). El GEH emés per l'activitat humana més important és el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) que ha augmentat en aquest mateix període en un 80% l'emissió d'aquest gas. Altres GEH importants que han augmentat els seus valors, molt per sobre de valors preindustrials, són el metà ( $\text{CH}_4$ ) i l'òxid nitrós ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Aquesta pujada en les concentracions de certs gasos tenen implicacions molt important en el clima, ja que afecten de manera marcada al forçament radiatiu (Figura 1.1).



**Figura 1.1:** Concentració de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$  durant l'últim mil·lenni. Font: IPCC

Aquest canvi en el clima es reflecteix de forma molt diversa en el temps i en l'espai, però donada la circulació oceànica, la circulació atmosfèrica, i la connexió que existeix entre aquestes dos, els efectes d'aquest forçament radiatiu es reparteixen, i per tant, es mostren de forma global. Alguns exemples d'aquests canvis, són l'augment de la temperatura sobre la superfície de la terra en  $0.8^\circ\text{C}$  des de 1850, l'augment del contingut de calor en els oceans, el retrocés de les glaceres continentals i la banquisa de l'Àrtic, i per últim, que desenvoluparem en profunditat en aquest escrit, la elevació del nivell mitjà del mar entre 1 i 2 mm/any (IPCC, 2007).

## 1.2 Canvi en el nivell del mar.

El nivell del mar pot variar per molts motius diferents, alguns de naturals altres d'antròpics, a diferents escales de temps i d'espai.



### 1.2.1 Nivell mitjà del mar.

Al llarg de la història, el nivell del mar ha jugat un paper important en la societat, fins al punt, de prendre's com a referència en molts camps de la ciència. L'interès per conèixer el que ens envolta i buscar el perquè dels esdeveniments naturals, va provocar, amb el cas específic de estudiar la isostàsia postglacial, la creació de organismes per a l'estudi i avaluació d'aquest, com el *Permanent Service of Mean Sea Level* (PSMSL) (Woodworth, 1993)

El nivell mitjà del mar és el valor promig d'aquest mesurat durant un interval temporal determinat. De manera que no es tenen en compte les fluctuacions a curt termini i periòdiques, com les marees per exemple. Poden hi haure dos significats diferents depenent del camp que ho estudia. El primer, entès des de el punt de vista de la geodèsia, que correspon a l'altura local del nivell mundial del mar respecte un nivell superficial conegut com a geoide. I l'altre, entès per a l'estudi de mareògrafs, com es el nostre cas, el valor promig (sense contar les onades) respecte la terra, és per això que pot sofrir fluctuacions a causa de variacions tant en les masses oceàniques com en els continents (PSMSL, 2011)

El procediment habitual per a calcular aquest valor promig en una zona determinada, segons com ho ha realitzat PSMSL, és realitzar un promig del nivell diari, depreciant l'efecte de les marees, i posteriorment realitzar el promig mensual i anual. En aquest procediment, és pot eliminar els efectes de la variabilitat a curt termini, no obstant, fluctuacions estacionals i interanuals mantindran els seus efectes sobre el valor promig, de tal manera que poden dificultar el càlcul de la tendència del nivell mitjà del mar (Douglas et al., 2001)

### 1.2.2 Variabilitat del nivell del mar

Es sabut, que el nivell del mar presenta una variabilitat acusada, tant natural com antròpica. A més a més, aquest canvi, pot ser degut al canvi del nivell propi de la massa d'aigua, però també de la massa continental que es pren com a referència.

A gran escala, aquest canvis són principalment: els que afecten als continents per processos tectònics naturals, els canvis postglacials i els deguts a processos antròpics com l'extracció d'aigua dels aqüífers, per exemple el quantificat a les costes de Manila a causa de la sobreexplotació dels aqüífers (Santamaría Gómez et al., 2012) i els que afecten al mar a causa de la variació en el volum de l'aigua dels oceans i amb la variabilitat climàtica.

Aquesta variabilitat pes pot considerar a curt termini i de forma periòdica, o bé a llarg termini. Els canvis a llarg termini són processos naturals, generalment en

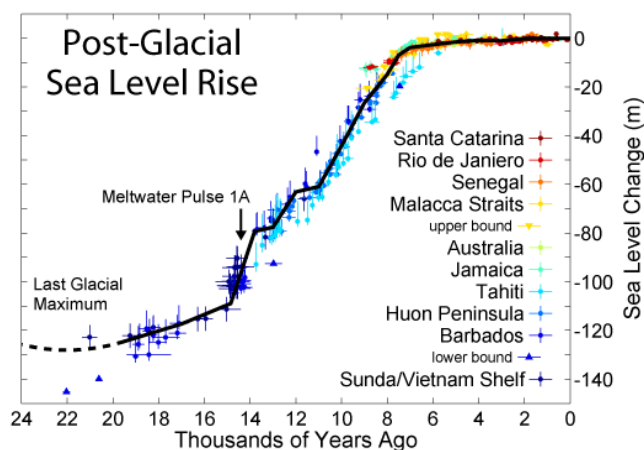
temps geològics, ocasionats per modificacions dels volums de les masses d'aigua o per deformacions de la conca que els conté per moviments tectònics. Els canvis a curt termini poden representar alteracions que durin des de segons o minuts fins a anys, alguns dels quals són periòdics, com les marees astronòmiques o rotacionals. Altres són les puntuals que causen canvis bruscos i que no tenen influència en els valor mitjà del mar, com són per exemple els Tsunamis. La resta de fluctuacions a curt termini són les ocasionades en el propi mar, com per exemple canvis en la densitat, temperatura o salinitat, o les influenciades per l'atmosfera, efecte baromètric invertit, vent, precipitació i evaporació, i oscil·lacions atmosfèriques.

És per això, que les fluctuacions en el nivell del mar són difícils de quantificar perquè no solament depèn del canvi en el volum del l'aigua del mar sinó de la forma de la conca, dels canvis gravitacionals i rotacionals i del patró de corrents oceàniques i atmosfèriques.

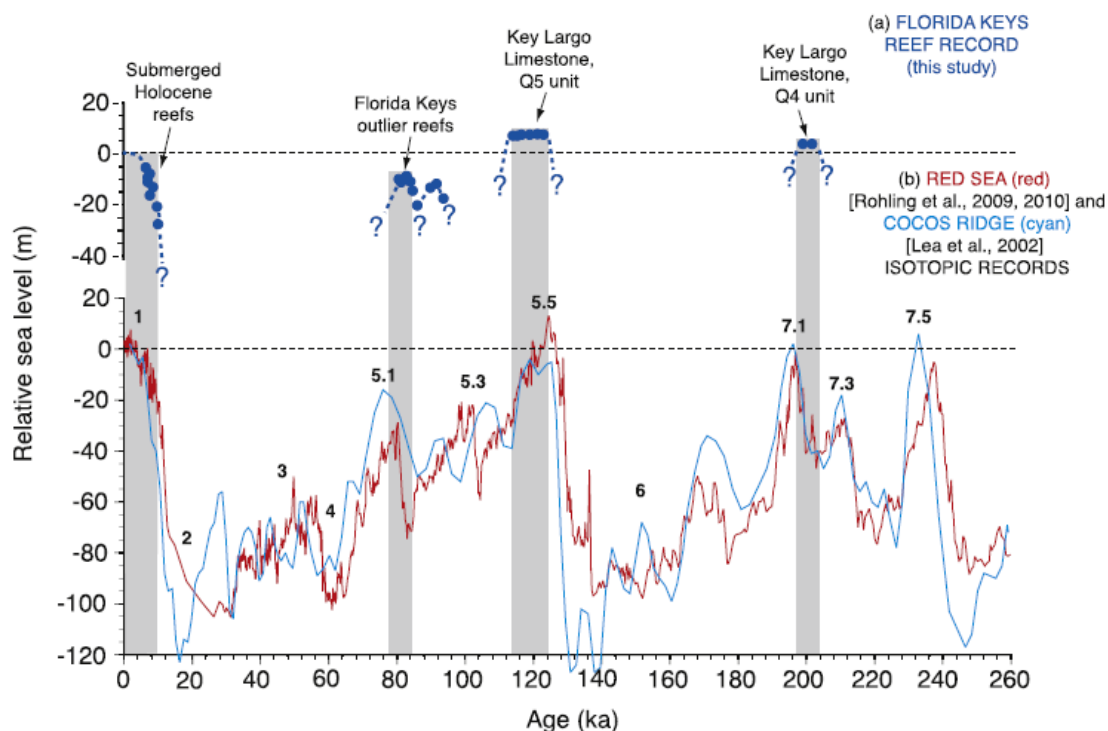
### 1.2.3 Evolució global fins l'actualitat

Com ja hem comentat el nivell del mar pot variar per molt motius, des que la Terra és com la coneixem avui en dia, la línia de la costa ha canviat molt al ritme de les glaciacions, essent el nivell més elevat en els períodes interglacials amb pujades brusques, mentre que els nivells més baixos s'assolien en els períodes glacials amb baixades suaus i perllongades

Segons els geòlegs, a nivell planetari, es va registrar una pujada de  $10 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  aproximadament entre 15.000 i 6000 anys BP, essent el ritme de pujada més gran registrat durant l'Holocè conegut com a Meltwater Pulse 1A, quan s'estima que el nivell mitjà del mar va pujar 16 metres en uns 300 anys (Figura 1.2). La pujada en els últims 6.000 anys ha seguit de l'ordre de  $0.5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  i els últims 3.000 anys a un ritme mitjà de 0.1 a  $0.2 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ . S'ha estimat que en els últims 20.000 anys, al final de última glaciació, en nivell del mar ha pujat al voltant de 120m, essent la causa principal la pèrdua de gel (Gornitz, 1995)(Figura 1.3).



**Figura 1.2: Nivell del mar postglacial.** La corba mostra el nivell del mar els últims 24 milers d'anys amb dades extretes de diferents estudis. Font: Climate.org..



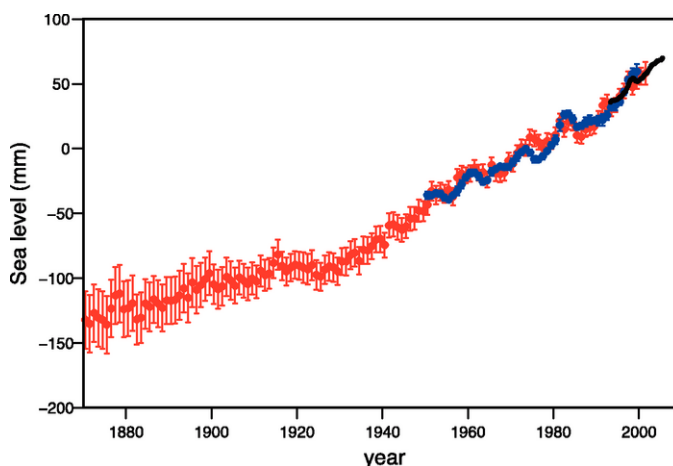
**Figura 1.3: Comparació de tres registres del nivell del mar per als últims 260 milers d'anys.** Els cercles són estimacions procedents de dades dels esculls de Florida; Corba, són estimacions derivades de cores del Mar Roig; Corba suavitzada, són estimacions a partir del ratio Mg/Ca de cores de Cocos Ridge. Les franges grises indiquen possibles correlacions. Font: Sea-level history of the past two interglacial periods: new evidence from U-series dating of reef corals from south Florida (Muhs et al., 2011).

## 1.2.4 Canvi actual a escala global

Actualment, segueix la inèrcia de pujada del nivell del mar a causa de la fi del període glacial, no obstant, el que s'està debatent a hora d'ara, és si l'acció humana està afectant aquesta pujada natural amb una acceleració antròpica del procés.

Com ja s'ha comentat, hi ha organismes (IPCC) que s'ocupen d'avaluar-ho, d'extreure'n conclusions i gestionar la seva difusió. Al quart informe sobre el canvi climàtic s'ha arribat a les següents conclusions. El valor mitjà mundial del nivell del mar ha augmentat a un ritme de  $1.8 \pm 0.5 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$

entre 1961 i 2003, mentre que si s'utilitza el període 1993 - 2003 el valor augmenta a  $3.1 \pm 0.7 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (Figura 1.4). A més a més, s'ha estudiat en aquest últim període, que la expansió tèrmica de l'aigua a causa de l'augment de la seva temperatura representa el 57% d'aquest augment, mentre que, el desglaç de les glaceres i casquets de gel va representar un 28%.



**Figura 1.4: Canvi recent del nivell del mar.** Es representen els valors anuals del valor mitjà mundial del nivell del mar. Els punts mostren la reconstrucció del nivell del mar des de 1870, la línia gruixuda mostra les mesures de mareògrafs i la línia fina la altimetria per satèl·lit. Les barres d'error mostren intervals de confiança de 90% Font: IPCC

Altres publicacions també ha proporcionats valors a aquesta pujada del nivell del mar, i que concorden amb els proporcionat pel IPCC. No obstant, pot ser interessant ressaltar una dada. Es calcula en  $2.3 \pm 0.7 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  la tendència mundial del mar per al període 1993 - 2003 (Domingues et al., 2008).

Pel que respecta a valors de tendències al Mediterrani, les estimacions per al període 1945 - 2000 apunten a una pujada de  $0.7 \pm 0.2 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  mentre que per al període posterior de 1961 - 2003 aquesta tendència ja ha variat a  $1.5 \pm 0.4 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  dels quals  $0.5 \pm 0.2 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , es quantifiquen com a resultat del desglaç de les glaceres (Calafat et al., 2009). Per al període 1993 - 2000, aquesta tendència ja seria molt més marcada ( $4.0 \pm 0.7 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ), dels quals  $0.5 \pm 0.1 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  podrien ser a causa el efecte baromètric invertit, ja que al disminuir la pressió atmosfèrica mitjana, el nivell del mar puja (Gomis et al., 2008).

Fins i tot, amb dades de mareògrafs, s'ha realitzat una modelització per al període 1950 - 2008, amb resultats molt bons de correlació amb les sèries consultades pel propi estudi, en que valoren la pujada del nivell del mar en aquest període entre  $0.6$  i  $1.6 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , essent el Mediterrani Oriental el que registraria un major pujada, mentre que al Mediterrani Occidental la pujada seria menor (Calafat et al., 2011).

## 1.3 Context geològic de la Península Ibèrica

Al llarg del temps geològic, la Península Ibèrica ha canviat de posició i de forma en nombroses ocasions, amb una geologia complicada i una variadíssima geografia, degut a la tectònica de plaques i la deriva continental.

Inicialment, la història geològica de la Península Ibèrica va estar lligada a la resta del continent europeu (Placa Eurasiàtica) i al continent africà (Placa Africana), no obstant, a partir del cretàc (100 milions d'anys) esdevé una placa pròpia (Placa Ibèrica).

Fins i tot, és més complex encara, ja que el sud-est peninsular una unitat amb moviment propi respecte la resta de la península, tal i com es pot observar en la Figura 1.5.

Com ja s'ha comentat, això té implicacions molt importants en els registres mareogràfics, ja que aquests mesuren l'acció combinada del moviment de les masses d'aigua i les masses continentals.



**Figura 1.5: Mapa tectònic de la Península Ibèrica.** Es mostren les falles, les actives (línia triangulada) i les estabilitzades (línia discontinua) i les diferents unitats geològiques. Font: Verges ans Sabat (1999).

### 1.3.1 Moviments d'escorça

Hi ha pocs estudis realitzats a la Península Ibèrica, no obstant, es poden treure conclusions dels realitzats al Mar mediterrani.

Aquests estudis conclouen, que la zona que experimenta més moviment és l'arc mediterrani, des de Catalunya a l'Estret, i també la zona del Nord d'Àfrica. La resta de la península, té un origen més vell, i per tant ja no mostren moviments detectables, al igual que les Illes Balears. El moviment vertical es quantifica en  $-0.22 \pm 0.51 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  pel litoral mediterrani (Zerbini et al., 1996).



## 2. Objectius

### 2.1 Objectiu principal

L'objectiu principal d'aquest projecte és avaluar l'estat de coneixement actual sobre el canvi recent del nivell mitjà del mar i fer una breu aproximació als seus impactes a les costes de la Península Ibèrica, identificant possibles mancances en la informació disponible actualment i proposar-hi nous projectes de investigació futura.

### 2.2 Objectius específics

Per a assolir l'objectiu principal cal assolir els següents objectius específics:

1. Analitzar la informació actual sobre l'evolució del nivell mitjà del mar a escala mundial.
2. Analitzar i sintetitzar la informació actual sobre l'evolució del nivell mitjà del mar a la Península Ibèrica, i avaluar les tendències de canvi en l'últim segle.
3. Avaluar la informació disponible sobre el moviment vertical continental en el cas de la Península Ibèrica, i establir-ne la relació amb el canvi del nivell mitjà del mar.
4. Comparar les tendències de la Península Ibèrica amb les dades publicades sobre la mediterrània i la resta del món.
5. Identificar deficiències geogràfiques i temporals en els registres actuals, i proposar noves línies de treball futur.
6. Avaluar les projeccions de futur del canvi del nivell mitjà del mar i identificar els possibles impactes en les costes ibèriques.





### 3. Metodologia

Aquest treball es basa en l'anàlisi de les dades mareogràfiques a la Península Ibèrica, i en aquest capítol, s'explica el procediment estadístic emprat.

#### 3.1 Zona d'estudi

La zona d'estudi d'aquest treball és la que engloba les plaques tectòniques relacionades amb la Península Ibèrica, que consten a part de la pròpia península, les Illes Balears i Ceuta. Les característiques de les estacions i la seva localització es troben a la Taula 3.1 i Figura 3.1. Les estacions del sud-est peninsular pertanyen a la mateixa unitat geològica que les estacions del nord del Mar d'Alboran i Illes Balears doncs estan dintre d'una mateixa placa diferenciada de la Eurasiàtica i l'Africana (Zerbini et al., 1996).

D'altra banda, donada la gran diversitat d'aigües oceàniques, mars i oceans més o menys tancats i amb la intenció de veure diferents comportaments enfront a la variació del nivell del mar, s'han diferenciat tres regions, el Mar Cantàbric, l'Oceà Atlàntic i el Mar Mediterrani (veure Figura 3.1), tot seguint com a criteris els seus límits geogràfics. Dintre del context peninsular, s'estableix com a límit entre la costa atlàntica i cantàbrica la Estaca de Bares, i entre la costa atlàntica i mediterrània la Punta de Tarifa, segons el criteri de la Organització Hidrogràfica Internacional (IHO, 1953).

#### 3.2 Informació mareogràfica

Per a l'obtenció de les dades sobre el nivell mitjà del mar s'ha utilitzat la informació proporcionada per diferents organismes encarregats en la distribució d'aquesta informació, com són: el *Instituto Español de Oceanografía* (IEO) i el *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL). Ja que la finalitat del PSMSL és integrar en una mateixa base de dades tota la informació mareogràfica a nivell mundial, les dades obtingudes pels mareògrafs de l'organisme espanyol ja queden incloses en els registres de PSMSL, així doncs només s'ha analitzat la informació proporcionada per aquests ([www.psmsl.org](http://www.psmsl.org)).

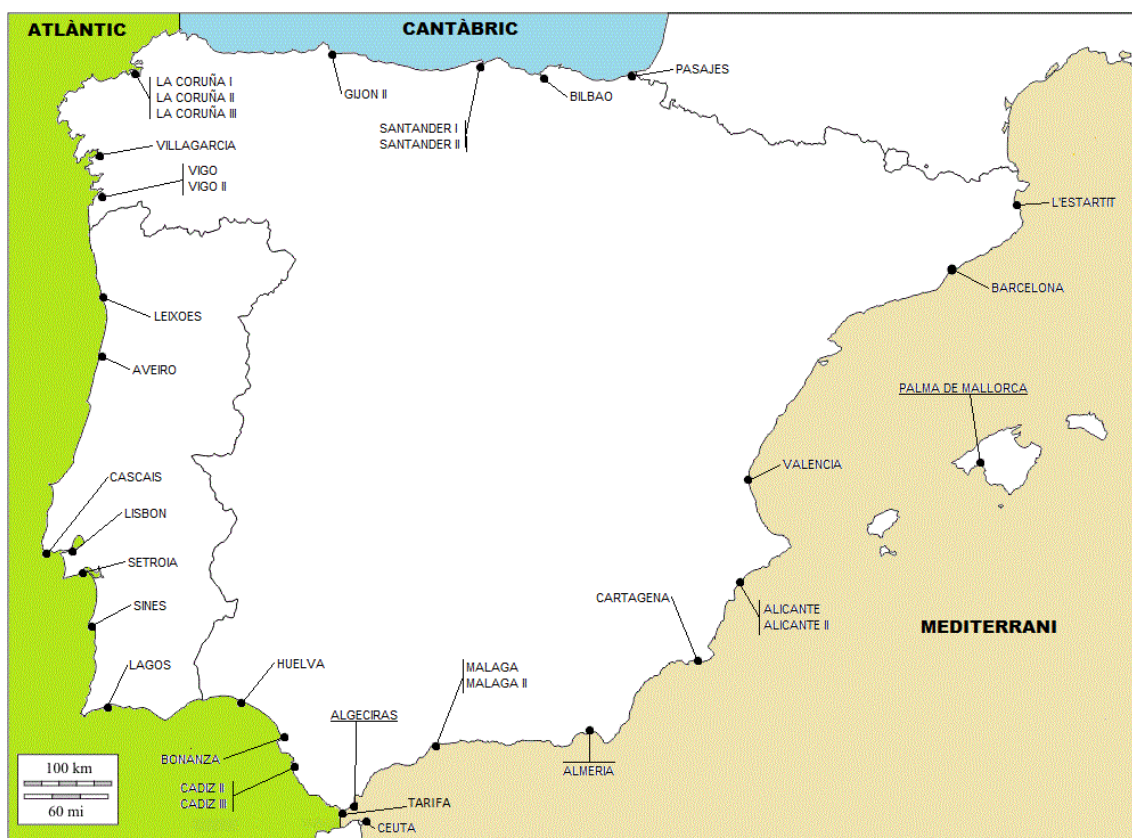
#### 3.3 Estacions d'estudi

Les estacions mareogràfiques seleccionades són compreses dintre de la zona d'estudi. Les sèries temporals són superiors a períodes de 10 anys i que la base de dades PSMSL les cataloga com a "Quality data". PSMSL, encara que

incorpora totes les dades proporcionades pels organismes oficials, cataloga de "dades de baixa qualitat, no aptes per a la recerca" aquelles estacions que considera oportú, i amb "Quality data" les dades adients per a la recerca ([www.psmsl.org](http://www.psmsl.org)).

**Taula. 3.1: Relació d'estacions estudiades.** El codi del país del PSMSL és EP = Espanya, PRT= Portugal i GBR = Gran Bretanya. El ID estació correspon a l'assignat pel PSMSL. Font: Elaboració pròpia amb dades de PSMSL.

Estació	País	ID Estació	Latitud (°)	Longitud (°)	Període
PASAJES	ESP	561	43.317	-1.917	1948-1963
BILBAO	ESP	1806	43.333	-3.033	1992-2008
SANTANDER I	ESP	485	43.467	-3.800	1943-2009
SANTANDER II	ESP	1051	43.467	-3.767	1963-1974
GIJON II	ESP	1871	43.567	-5.700	1995-2009
LA CORUNA I	ESP	484	43.367	-8.400	1943-2010
LA CORUNA II	ESP	763	43.367	-8.400	1955-1997
LA CORUNA III	ESP	1808	43.367	-8.383	1992-2007
VILLAGARCIA	ESP	1897	42.600	-8.767	1997-2009
VIGO	ESP	483	42.233	-8.733	1943-2010
VIGO II	ESP	1898	42.250	-8.733	1992-2009
LEIXOES	PRT	791	41.183	-8.700	1956-1995
AVEIRO	PRT	1402	40.650	-8.750	1975-1996
CASCAIS	PRT	52	38.683	-9.417	1882-1993
LISBON	PRT	1336	38.700	-9.133	1972-1985
SETROIA	PRT	1425	38.500	-8.900	1976-1996
SINES	PRT	1456	37.950	-8.883	1972-1992
LAGOS	PRT	162	37.100	-8.667	1908-1999
HUELVA	ESP	1883	37.133	-6.833	1996-2006
BONANZA	ESP	1809	36.800	-6.333	1992-2009
CADIZ I	ESP	514	36.500	-6.200	1946-1965
CADIZ II	ESP	209	36.533	-6.317	1976-1988
CADIZ III	ESP	985	36.533	-6.283	1961-2010
TARIFA	ESP	488	36.000	-5.600	1943-2010
ALGECIRAS	ESP	490	36.117	-5.433	1943-2002
GIBRALTAR	GBR	981	36.133	-5.350	1961-2008
CEUTA	ESP	498	35.900	-5.317	1944-2010
MALAGA	ESP	496	36.717	-4.417	1944-2010
MALAGA II	ESP	1810	36.717	-4.417	1992-2009
ALMERIA	ESP	1455	36.833	-2.483	1977-1997
CARTAGENA	ESP	1460	37.600	-0.967	1977-1987
ALICANTE	ESP	208	38.333	-0.483	1952-1996
ALICANTE II	ESP	960	38.333	-0.483	1960-1997
VALENCIA	ESP	1813	39.467	-0.333	1992-2005
BARCELONA	ESP	1811	41.350	2.167	1992-2007
L'ESTARTIT	ESP	1764	42.050	3.200	1990-2011
PALMA DE MALLORCA	ESP	1892	39.550	2.633	1997-2010



**Figura. 3.1:** Mapa de regions i estacions mareogràfiques incloses en aquest estudi.  
Font: Elaboració pròpia.

### 3.3.1 Dades mareogràfiques

La base de dades de mareògrafs està composta per sèries temporals del nivell mitjà mensual del mar, consultada el Febrer de 2012, i ampliada el Juny de 2012 amb l'ampliació del període de dades d'algunes estacions. La mitjana mensual es calcula com el promig de les dades que el mareògraf mesura cada 6 minuts. Aquesta base de dades utilitza l'anomenat, *Revised Local Reference* (RLR), un sistema que consisteix en agafar un any de referència per a cada estació i s'estableix un únic nivell mitjà de calibratge per a totes les estacions de manera que es calibren les sèries temporals resten comparables entre elles. Val a dir que això no suposa un canvi en la tendència general de la sèrie temporal i que, per tant, no interfereix en els resultats d'aquest estudi.

#### 3.3.1.1 Correlacions i selecció d'estacions

Com s'observa a la Figura 3.1 i la Taula 3.1, diverses localitzacions portuàries disposen de diverses estacions mareogràfiques. Realitzar l'anàlisi de totes

aquestes estacions ocasionaria un biaix respecte el comportament global, donant un major pes en les dades dels llocs que presenten més d'una estació. Per aquest motiu, s'han realitzat diferents procediments estadístics preliminars per excloure aquells casos que sigui necessari.

Totes les estacions duplicades presentaven algun període de temps amb dades simultànies. Per a veure la similitud entre les sèries temporals s'ha realitzat un estudi de Correlació de Pearson entre elles, tot fent servir l'expressió:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

En cas de similitud, s'ha escollit la sèrie més llarga.

Així doncs, s'han realitzat aquestes correlacions amb els aparellaments següents:

- SANTANDER I - SANTANDER II
- LA CORUNA I - LA CORUNA II
- LA CORUNA I - LA CORUNA III
- VIGO - VIGO II
- CADIZ I - CADIZ III
- CADIZ II - CADIZ III
- ALGECIRAS - GIBRALTAR: encara que no pertanyen al mateix port, la correlació es realitza degut a la proximitat de les dues estacions.
- MALAGA - MALAGA II
- ALICANTE - ALICANTE II

En tots els casos les correlacions observades són altes (rang entre 0.82 i 0.98), tot justificant escollir les estacions duplicades de període més llarg. Es presenta a la Taula 3.2 la llista d'estacions seleccionades. Finalment, són un total de 28 estacions d'estudi amb 12420 valors mensuals.

**Taula. 3.2: Relació d'estacions seleccionades.** Es mostren les estacions seleccionades per aquest estudi, amb la informació més rellevant (País, Regió, Codi d'identificació dintre la base de dades del PSMSL, coordenades, i període durant el qual es tenen dades en anys) on ESP = Espanya i PRT= Portugal i CAN = Cantàbric, ATL = Atlàntic i MED = Mediterrani. Font: Elaboració pròpia amb dades de PSMSL.

Estació	País	Regió	ID Estació	Latitud(°N)	Longitud(°E)	Període
PASAJES	ESP	CAN	561	43.317	-1.917	1948-1963
BILBAO	ESP	CAN	1806	43.333	-3.033	1992-2008
SANTANDER I	ESP	CAN	485	43.467	-3.800	1943-2009
GIJON II	ESP	CAN	1871	43.567	-5.700	1995-2009
LA CORUNA I	ESP	ATL	484	43.367	-8.400	1943-2010
VILLAGARCIA	ESP	ATL	1897	42.600	-8.767	1997-2009
VIGO	ESP	ATL	483	42.233	-8.733	1943-2010
LEIXOES	PRT	ATL	791	41.183	-8.700	1965-1986
AVEIRO	PRT	ATL	1402	40.650	-8.750	1975-1996
CASCAIS	PRT	ATL	52	38.683	-9.417	1882-1993
LISBON	PRT	ATL	1336	38.700	-9.133	1972-1985
SETROIA	PRT	ATL	1425	38.500	-8.900	1976-1996
SINES	PRT	ATL	1456	37.950	-8.883	1972-1992
LAGOS	PRT	ATL	162	37.100	-8.667	1908-1987
HUELVA	ESP	ATL	1883	37.133	-6.833	1996-2006
BONANZA	ESP	ATL	1809	36.800	-6.333	1992-2009
CADIZ III	ESP	ATL	985	36.533	-6.283	1961-2010
TARIFA	ESP	MED	488	36.000	-5.600	1943-2010
ALGECIRAS	ESP	MED	490	36.117	-5.433	1961-2002
CEUTA	ESP	MED	498	35.900	-5.317	1944-2010
MALAGA	ESP	MED	496	36.717	-4.417	1962-2010
ALMERIA	ESP	MED	1455	36.833	-2.483	1977-1997
CARTAGENA	ESP	MED	1460	37.600	-0.967	1977-1987
ALICANTE II	ESP	MED	208	38.333	-0.483	1960-1997
VALENCIA	ESP	MED	1813	39.467	-0.333	1992-2005
BARCELONA	ESP	MED	1811	41.350	2.167	1992-2007
L'ESTARTIT	ESP	MED	1764	42.050	3.200	1990-2011
PALMA DE MALLORCA	ESP	MED	1892	39.550	2.633	1997-2010

### 3.3.1.2 Revisió de les sèries temporals

Algunes de les estacions seleccionades presenten irregularitats en les seves dades i amb cura de no realitzar cap canvi que alteri la tendència temporal s'han realitzat algunes modificacions adients per a realitzar aquest estudi:

- VIGO: es va detectar una diferència important en la mitjana dels seus valors respecte la mitjana de la resta d'estacions. Una vegada consultada la informació respecte el RLR de l'estació s'observa que aquesta estació no ha estat reajustada correctament. Per aquest motiu,

s'ha calculat la mitjana aritmètica de les estacions pròximes amb valors simultanis, amb exactament el mateix número de dades i per a les mateixes dates. S'ha calculat la diferència de la mitjana de VIGO respecte la mitjana global d'aquestes estacions (-162 mm) i s'ha procedit al reajustament, sumant-hi aquesta diferència a totes les dades de la sèrie temporal. D'aquesta forma no es produeixen variacions en la tendència, element fonamental del nostre estudi.

$$X_{i,1} = X_{i,0} + |\bar{V}_i - \bar{V}_{i...j}|$$

on  $X_{i,1}$  és el valor mensual reajustat;  $X_{i,0}$  és el valor mensual que es vol reajustar i  $|\bar{V}_i - \bar{V}_{i...j}|$  és, en valor absolut, la diferència entre la mitjana de la sèrie temporal que es vol reajustar i el promig de les mitjanes de la resta de sèries.

- LEIXOES: Els primers anys (1956-1964) presenten una tendència de  $37.1 \pm 2.4 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , molt més gran que la resta ( $2.2 \pm 0.3 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ). En efecte, PSMSL indica que "les dades anteriors a 1965 presenten un aspecte sospitos respecte la resta de la tendència". Una vegada revisada bibliografia sobre moviments verticals en aquesta zona, no es troben estudis concloents que justifiquin aquesta marcada variació. Per tant, s'ha eliminat aquest període de l'anàlisi. A més a més, s'eliminen un grup reduït de dades aïllades de la resta de la sèrie temporal posteriors a un gran interval temporal sense dades (1986 - 1995).
- LAGOS: Presenta intervals temporals sense dades petits que no suposen un problema a l'hora de fer l'estudi estadístic. Tanmateix, més enllà de l'any 1987 les dades presenten moltes discontinuïtats i molts valors aïllats. Per tant, s'ha decidit analitzar la sèrie només fins l'any 1987.
- CADIZ III: el mateix cas que VIGO, però amb un ajustament de 194mm.
- TARIFA: PSMSL ha detectat un error en el seu ajustament, tot donant com a vàlides les dades enviades per l'IEO. Es procedeix de la mateixa forma que VIGO i CADIZ III, amb una reajustament de 5939mm.
- ALGECIRAS: s'elimina el període de dades fragmentat des del 1943 fins els 1961, ja que presenta diversos intervals temporals sense dades que podrien donar resultats erronis.
- MALAGA: el mateix cas que ALGECIRAS, tot eliminant les dades fins el 1961.

### 3.3 Tendències i tractament estadístic

En primer lloc es calcula, amb el programa Microsoft Excel 2010, els valors estadístics bàsics, com la mitjana, valor màxim, mínim i desviació típica de cada sèrie temporal per analitzar el comportament global de cada sèrie. Després es procedeix a realitzar un estudi estadístic en més profunditat de les sèries temporals.

#### 3.3.1 Valors extrems (*Outliers*)

El primer pas va ser detectar si hi havia valors extrems en les sèries temporals (*outliers*). S'han considerat outliers els valors per sobre o per sota de l'interval  $3\sigma$ , és a dir, tres cops la desviació estàndard, valor per al qual un 99.7% dels valors de la sèrie queden inclosos dintre de l'interval (Peña, 2005). Per als valors extrems s'ha analitzat si es repeteixen per a la mateixa data en estacions pròximes, tot reflectint fenòmens naturals, o si bé, són casos aïllats i que es podrien considerar un error de mesura. En cap cas ens trobem en aquest últim supòsit, i per tant, hem conclòs, que es tracta en tots els casos de variacions naturals. Aquest estudi es va realitzar també amb rutines de detecció d'extrems dels programes estadístics SPSS i R. Els resultats de l'anàlisi han estat els mateixos en ambdós casos.

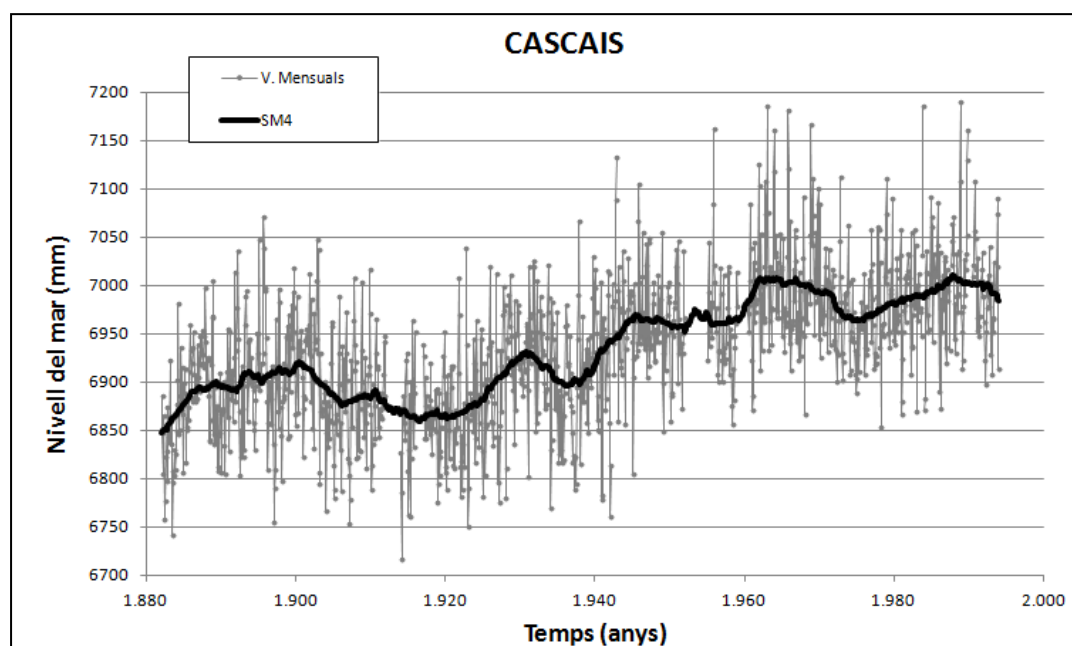
#### 3.3.1 Mitjana mòbil (*Sliding mean*)

Per tal de solucionar la problemàtica de la presència de intervals temporals sense dades s'ha utilitzat el mètode de la mitjana mòbil, coneguda en anglès per *moving average* o *sliding mean* (SM), mètode utilitzat en molts altres estudis (p.e Antunes et al, 2009).

En aquest mètode, es calcula la mitjana de valors abans i després de cada valor de la sèrie durant un temps fix. A més, de facilitar el tractament estadístic en sèries temporals amb interrupcions dels registres també disminueix les variacions estacionals de les dades i, per tant, millora la incertesa de les tendències observades.

En el nostre estudi, s'han plantejat com a possibles períodes de promig 2, 4 i 6 anys, de manera que per a cada valor es realitza el promig amb els 12, 24 i 36 mesos anteriors i posteriors, respectivament, de tal manera que el SM2 és un promig de 24 valors, SM4 de 48 valors i SM6 de 72 valors. Finalment, s'ha escollit per a l'estudi el SM4, ja que és suficient per a mitigar les variacions estacionals i la major part del intervals temporals sense dades del present estudi, tal i com es pot observar en la Figura 3.2, on es mostra la sèrie temporal

corresponent a CASCAIS i com la SM4 suavitza les oscil·lacions mensuals i dona valors teòrics per als mesos sense dades.



**Figura. 3.2: Sèrie temporal CASCAIS.** Es mostren els valors mensuals de la sèrie temporal de CASCAIS amb la *Sliding Mean* 4 anys. Font: Elaboració pròpia.

### 3.3.3 Regressions i significació estadística

Per a quantificar la tendència del canvi del nivell del mar i determinar si aquesta s'accelera, s'ha realitzat un estudi de regressions lineals i quadràtiques (també coneguda com a polinòmica de grau 2) per a les estacions seleccionades.

El procediment general per a realitzar aquestes regressions és el següent: s'han convertit cada sèrie temporal proporcionada en fulls de càlculs Excel, s'han calculat els valors SM4 per a cada valor mensual. S'han calculat els valors referents a la regressió ( $R^2$  ajustat, coeficient de la variable X, l'error típic i el valor de P) amb l'aplicatiu del propi programa. Per a la realització de les regressions quadràtiques el procediment és el mateix, amb la incorporació de la variable "temps quadrat" resultat d'aplicar la funció quadrat al valor temporal corresponent. La base de dades de les sèries regionals i global s'ha creat a partir de la unió de les sèries temporals que corresponen a cada subgrup.

**Estudi individual de cada estació.** S'han realitzat per a cada estació regressions lineals i quadràtiques. Els motius d'utilitzar aquests dos models són:

- Calcular la tendència de canvi del nivell mitjà del mar ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ).



- Veure si aquesta tendència es manté al llarg dels anys o bé sofreix algun tipus d'acceleració, ja sigui negativa o positiva ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-2}$ ).

S'ha adoptat com a nivell de significació estadística el valor estàndard de 0.05. La incertesa associada a la tendència s'ha calculat com l'error típic del coeficient lineal de la regressió. Les regressions s'han realitzat també amb els valors obtinguts amb la SM4, per tal d'augmentar la significació estadística al reduir-se la variància de les dades.

**Taula. 3.3: Exemple regressió CASCAIS.** Es mostra la taula resultant de la regressió per a la sèrie temporal CASCAIS tal i com la proporciona l'aplicatiu estadístic de Microsoft Excel 2010. Font: Elaboració pròpia.

<i>Estadístics de la regressió</i>	
C. correlació múltiple	0,863
C. determinació $R^2$	0,745
$R^2$ ajustat	0,745
Error típic	24,743
Observacions	1344

#### ANÁLISI DE VARIANCI

	<i>Graus de llibertat</i>	<i>Suma de quadrats</i>	<i>Promig dels quadrats</i>	<i>F</i>	<i>V. crític de F</i>
Regressió	1	23,9E5	23,9E5	3,9E3	0
Residus	1342	8,2E5	612,2		
Total	1343	32,2E5			

	<i>Coefficient</i>	<i>Error típic</i>	<i>Estadístic t</i>	<i>P</i>	<i>Inf. 95%</i>	<i>Sup. 95%</i>	<i>Inf. 95,0%</i>	<i>Sup. 95,0%</i>
Intercepció	5667,6	20,24	279,96	0	5627,87	5707,30	5627,87	5707,30
Variable X	3,4E-12	5,4E-14	62,57	0	3,2E-12	3,4E-12	3,2E-12	3,4E-12

**Estudi regional i global.** Ja que totes les dades estan referides a un mateix nivell (RLR), s'han fet servir els mateixos mètodes estadístics per al conjunt de valors de les estacions agrupades per a cada regió (CANTÀBRIC, ATLÀNTIC i MEDITERRANI) i per al conjunt de totes les estacions peninsulars (GLOBAL) amb la finalitat d'estimar les tendències regionals i esbrinar si els grups presenten un comportament diferent entre ells. S'ha utilitzat el mateix criteri de significació estadística que en l'estudi individual.

**Estudi estacions, regional i global del període 1997-2009.** Per tal d'estudiar la tendència més recent, s'ha realitzat un estudi acotant les sèries temporals des de l'any 1997 i fins l'any 2009, de manera que les tendències obtingudes

siguin comparables entre elles, i evitar que en l'anàlisi hi hagi biaixos per variacions temporals de les variables que afecten el nivell del mar. S'ha realitzat una anàlisi de regressió lineal i quadràtica per a cada estació amb dades d'aquest interval temporal, per a les diferents regions i per al conjunt de dades disponibles.

## 4. Resultats

Els resultats de l'anàlisi estadístic bàsic es mostra a la Taula 4.1. Les estacions d'estudi presenten dades per períodes de temps molt diversos, alguns de principi del segle XX, fins i tot finals dels segle XIX, i altres més recents, fins 2011, en el cas de l'estació de L'ESTARTIT. L'estació amb la sèrie temporal més llarga és CASCAIS amb 111 anys de dades, 1332 valors mensuals. La major part de les sèries temporals s'inicien en la dècada dels 90, per tant, molt recentment. S'han observat mitjanes de les sèries temporals que oscil·len entre els 6921 mm de PASAJES i els 7077 mm de BONANZA, amb un valor mitjà peninsular de 7021 mm. Els valors màxims mensuals es registren a les estacions atlàntiques, amb un màxim a LA CORUNA I de 7444 mm, mentre que els mínims es registren, en les estacions amb registres de principi de segle XX, com PASAJES amb 6639 mm. La desviació estàndard oscil·la entre valors de 50 i 100 mm, amb un valor màxim per a l'estació de VALENCIA amb 102 mm.

### 4.1 Tendències per estacions

A la Taula 4.2 es mostra un resum amb els valors de les tendències calculades per a cada sèrie, seguint el model de regressió lineal i a la Figura 4.1 una representació gràfica.

La regressió lineal ha resultat amb un rang de tendències entre  $-1.3$  i  $13.3 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  encara que a la majoria de les estacions les tendències són positives. Les estacions que presenten valors més elevats són VALENCIA i PALMA DE MALLORCA amb  $13.3 \pm 0.4 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i  $7.1 \pm 0.5 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , respectivament. Només hi ha dos casos en que les tendències són significativament negatives, AVEIRO i CARTAGENA, amb  $-1.3 \pm 0.2 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i  $-0.7 \pm 0.1 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , amb períodes reportats entre els anys 1975 i 1996. Les estacions de GIJON II, LISBON, ALMERIA i ALICANTE II han mostrat valors elevats de P (no són significatives) i valors molt baixos del coeficient  $R^2$  d'entorn al 0%, tot indicant, que les dades d'aquestes estacions no presenten tendències de canvi del nivell del mar. És remarcable el valor P igual a 0 per a CASCAIS, ja que es tracta d'una sèrie de dades molt llarga i consistent, altament significativa.

Els valors de les tendències calculades per a cada sèrie temporal s'han calculat per a diferents períodes de temps, i per tant, no són directament comparables. És doncs important tenir cura a l'hora d'interpretar els resultats, especialment en aquelles sèries temporals més curtes. El fet que una estació presenti una tendència negativa, no es necessàriament indicació d'una excepció amb la resta d'estacions, sinó probablement a la observació d'una disminució temporal del nivell del mar a l'estació degut a la variabilitat natural, que en sèries més llargues no es reflecteixen en el valor final de la tendència. Per exemple,

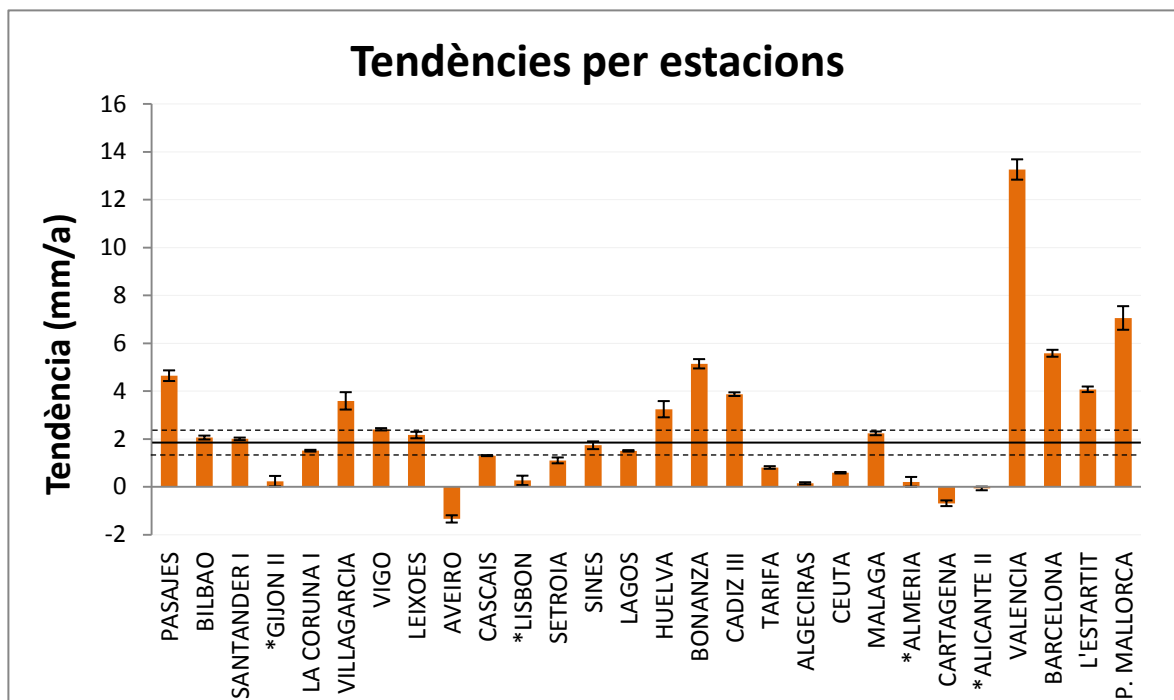
l'estació CARTAGENA registra una tendència negativa, durant el període 1977 - 1987, tot mostrant que en aquesta dècada el nivell del mar marca una tendència a baixar, fet que es produeix de forma general a la resta d'estacions.

**Taula. 4.1: Caracterització estadística de les estacions seleccionades.** Valors estadístics bàsics per a la caracterització de les estacions d'estudi. Font: Elaboració pròpia.

Estació	Període	N. Dades	Mitjana (mm)	Màxim mensual (mm)	Mínim mensual (mm)	Desviació estàndard (mm)
PASAJES	1948-1963	180	6921	7204	6639	81
BILBAO	1992-2008	192	7035	7232	6862	70
SANTANDER I	1943-2009	792	6996	7289	6732	88
GIJON II	1995-2009	168	6990	7234	6814	76
LA CORUNA I	1943-2010	804	7035	7444	6787	87
VILLAGARCIA	1997-2009	144	7045	7376	6846	85
VIGO	1943-2010	804	7005	7437	6784	99
LEIXOES	1965-1986	468	7048	7357	6779	95
AVEIRO	1975-1996	252	7068	7390	6887	77
CASCAIS	1882-1993	1332	6933	7190	6716	73
LISBON	1972-1985	156	7013	7182	6850	57
SETROIA	1976-1996	240	7032	7267	6896	63
SINES	1972-1992	240	7050	7242	6925	56
LAGOS	1908-1987	1092	7025	7314	6657	77
HUELVA	1996-2006	120	7019	7180	6840	70
BONANZA	1992-2009	204	7077	7331	6871	73
CADIZ III	1961-2010	588	7051	7366	6781	95
TARIFA	1943-2010	804	7024	7211	6780	74
ALGECIRAS	1961-2002	708	6955	7169	6794	57
CEUTA	1944-2010	792	6980	7182	6802	59
MALAGA	1962-2010	792	6926	7121	6740	72
ALMERIA	1977-1997	240	7051	7208	6879	66
CARTAGENA	1977-1987	120	7048	7212	6866	60
ALICANTE II	1960-1997	444	7067	7259	6871	69
VALENCIA	1992-2005	156	7072	7310	6820	102
BARCELONA	1992-2007	180	7044	7217	6823	82
L'ESTARTIT	1990-2011	252	7031	7217	6822	75
PALMA DE MALLORCA	1997-2010	156	7040	7246	6882	86

**Taula. 4.2: Tendències lineals a cada estació.** En aquesta taula es mostren, el període per al qual s'ha calculat la regressió, els valors de les tendències de les estacions d'estudi, la incertesa d'aquest valor, el valor de p (significació estadística) i el coeficient  $R^2$  ajustat. Marcats amb \* són els p superiors a 0.05, i que per tant, indiquen una baixa significació estadística. Font: Elaboració pròpia.

Estació	Període	Tendència (mm·a <sup>-1</sup> )	Incertesa (mm·a <sup>-1</sup> )	Valor P	R <sup>2</sup> Ajust.
PASAJES	1948-1963	4,64	0,22	4,0E-51	0,69
BILBAO	1992-2008	2,06	0,08	1,1E-63	0,76
SANTANDER I	1943-2009	2,00	0,05	1,3E-175	0,63
GIJON II	1995-2009	0,24	0,22	2,8E-01*	0,01
LA CORUNA I	1943-2010	1,51	0,04	2,1E-200	0,67
VILLAGARCIA	1997-2009	3,59	0,36	6,8E-18	0,40
VIGO	1943-2010	2,40	0,05	2,8E-251	0,76
LEIXOES	1965-1986	2,16	0,14	2,0E-40	0,49
AVEIRO	1975-1996	-1,34	0,15	2,2E-16	0,23
CASCAIS	1882-1993	1,30	0,02	0	0,74
LISBON	1972-1985	0,27	0,20	1,7E-01*	0,00
SETROIA	1976-1996	1,10	0,12	7,0E-17	0,24
SINES	1972-1992	1,74	0,16	2,9E-21	0,38
LAGOS	1908-1987	1,50	0,03	1,1E-256	0,71
HUELVA	1996-2006	3,24	0,34	1,8E-16	0,43
BONANZA	1992-2009	5,14	0,20	2,5E-68	0,77
CADIZ III	1961-2010	3,87	0,08	4,5E-219	0,81
TARIFA	1943-2010	0,81	0,05	1,5E-44	0,21
ALGECIRAS	1961-2002	0,15	0,05	1,7E-03	0,02
CEUTA	1944-2010	0,59	0,03	2,2E-66	0,31
MALAGA	1962-2010	2,23	0,08	1,5E-114	0,59
ALMERIA	1977-1997	0,21	0,20	3,0E-01*	0,00
CARTAGENA	1977-1987	-0,69	0,12	6,5E-08	0,20
ALICANTE II	1960-1997	-0,07	0,08	3,8E-01*	0,00
VALENCIA	1992-2005	13,26	0,42	5,0E-69	0,86
BARCELONA	1992-2007	5,58	0,15	3,4E-89	0,89
L'ESTARTIT	1990-2011	4,08	0,12	2,7E-101	0,83
PALMA DE MALLORCA	1997-2010	7,06	0,49	1,9E-30	0,56



**Figura. 4.1: Tendències per estació.** Es mostren la magnitud de les tendències calculades. Les estacions marcades amb \* són estacions amb un valor de p elevat, i que per tant, no són prou significatives. La línia negra horitzontal representa el valor mitjà mundial de variació del mar i la incertesa (discontinues),  $1.8 \pm 0.5 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  per al període 1961-2003 (IPCC, 2007). Font: Elaboració pròpia.

Val a dir que s'ha de tenir cura de comparar les tendències del nostre estudi amb el valor mundial mitjà, ja que corresponen a períodes diferents i les nostres estacions poden presentar variacions de tipus local. Tot i així, les tendències presenten valors similars, amb alguna excepció com VALENCIA I PALMA DE MALLORCA, que presenten valors molt més elevats.

A la Taula 4.3 es mostra la relació d'estacions amb els valors obtinguts per a la regressió quadràtica, que mostren si la variació del nivell del mar s'accelera positiva o negativament. Les tendències a augmentar o disminuir el ritme de variació són dispars entre les estacions. Són destacables els casos de VILLAGARCIA que registra una desacceleració de la pujada del nivell del mar de  $-1.1 \pm 0.1 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-2}$  i PALMA DE MALLORCA amb una acceleració de  $1,7 \pm 0,1 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-2}$ , ambdues altament significatives estadísticament. La resta d'estacions no presenten acceleracions importants (entre  $0.5$  i  $-0.5 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-2}$ ). Les estacions SANTANDER I, LISBON, CADIZ III i L'ESTARTIT no presenten tendència significativa d'acceleració amb valor de P superior a 0.05.

**Taula. 4.3: Tendències quadràtiques per estació.** En aquesta taula es mostren, el període per al qual s'ha calculat la regressió quadràtica, els valors de les tendències d'acceleració de les estacions d'estudi, la incertesa d'aquest valor, el valor de p que indica la significació estadística i el coeficient  $R^2$  ajustat. S'ha marcat amb \* els valors de p superiors a 0.05 que indiquen poca significació estadística. Font: Elaboració pròpia.

Estació	Període	Acceleració (mm·a <sup>-2</sup> )	Incertesa (mm·a <sup>-2</sup> )	Valor P	R <sup>2</sup> Ajust.
PASAJES	1948-1963	0,16	0,05	0,0025	0,71
BILBAO	1992-2008	-0,10	0,02	1,7E-07	0,79
SANTANDER I	1943-2009	0,000	0,003	0,9863*	0,63
GIJON II	1995-2009	-0,43	0,05	8,5E-16	0,31
LA CORUNA I	1943-2010	0,015	0,002	5,4E-13	0,69
VILLAGARCIA	1997-2009	-1,07	0,07	2,4E-29	0,75
VIGO	1943-2010	-0,022	0,003	1,1E-16	0,78
LEIXOES	1965-1986	-0,09	0,02	0,0004	0,52
AVEIRO	1975-1996	-0,08	0,03	0,0040	0,25
CASCAIS	1882-1993	0,007	0,001	7,1E-20	0,76
LISBON	1972-1985	-0,05	0,05	0,3173*	0,01
SETROIA	1976-1996	0,09	0,02	0,0002	0,28
SINES	1972-1992	0,16	0,04	4,5E-05	0,43
LAGOS	1908-1987	-0,023	0,001	2,9E-58	0,78
HUELVA	1996-2006	0,59	0,12	2,0E-06	0,52
BONANZA	1992-2009	-0,34	0,04	3,2E-17	0,84
CADIZ III	1961-2010	0,01	0,01	0,1803*	0,81
TARIFA	1943-2010	0,054	0,002	6,7E-83	0,51
ALGECIRAS	1961-2002	0,046	0,004	3,7E-29	0,24
CEUTA	1944-2010	0,009	0,002	9,8E-07	0,33
MALAGA	1962-2010	0,108	0,004	4,1E-97	0,80
ALMERIA	1977-1997	0,54	0,02	8,4E-85	0,80
CARTAGENA	1977-1987	0,37	0,03	8,6E-24	0,65
ALICANTE	1952-1996	0,12	0,01	2,0E-66	0,48
VALENCIA	1992-2005	1,20	0,08	3,5E-32	0,94
BARCELONA	1992-2007	0,16	0,03	1,2E-05	0,90
L'ESTARTIT	1990-2011	0,01	0,02	0,7862*	0,82
PALMA DE MALLORCA	1997-2010	1,68	0,05	3,1E-74	0,96

## 4.2 Tendències regionals o globals

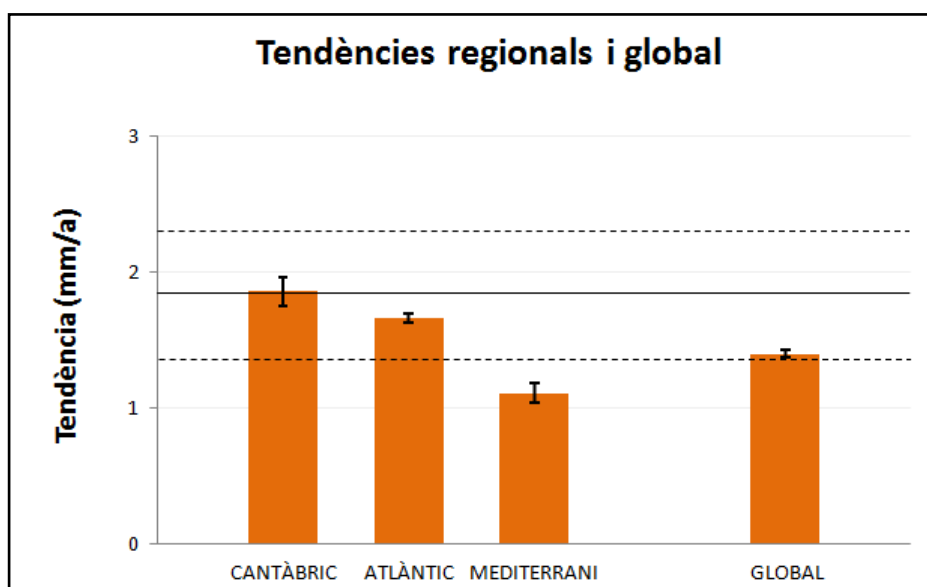
A l'igual que amb les tendències individuals, hem realitzat els mateixos càlculs per a les sèries resultants de la unió dels valors de les estacions per regions i pels valors globals.

En primer lloc, comentar que totes les tendències obtingudes mitjançant la regressió lineal han resultat amb valors positius, entre  $1.11$  i  $1.86 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , i molt significatives estadísticament. ATLÀNTIC I GLOBAL presenten valors de P igual a 0, i CANTÀBRIC on l'augment és més marcat,  $1.9 \pm 0.2 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .

**Taula. 4.4: Tendències lineals regionals i global.** En aquesta taula es mostren, el període per al qual s'ha calculat la regressió, els valors de les tendències de les regions d'estudi i el valor global en  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , la incertesa d'aquest valor en  $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ , el valor de p que indica la significació estadística i el coeficient  $R^2$  ajustat. Font: Elaboració pròpia.

Regió	Període	Tendència ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ )	Incertesa ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ )	Valor P	$R^2$ Ajust.
CANTÀBRIC	1943-2009	1,86	0,20	6,7E-65	0,20
ATLÀNTIC	1882-2010	1,66	0,07	0	0,29
MEDITERRANI	1943-2011	1,11	0,13	2,7E-57	0,06
GLOBAL	1882-2011	1,40	0,06	0	0,17

A la Figura 4.2, s'observa que les tendències obtingudes són lleugerament inferiors al valor mitjà mundial, tot i que s'ha de tenir en compte la diferència entre períodes d'estudi. En el cas MEDITERRANI, el valor resultant està en concordança amb el valors publicats per al període 1950 - 2008, per al conjunt del Mar Mediterrani (entre  $0.8$  i  $1.2 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  al Mediterrani Occidental) (Calafat et al., 2011).



**Figura. 4.2: Tendències regionals i global.** Es mostren les tendències calculades, amb el seu interval de confiança, per al conjunt de dades regionals i el valor de la tendència per als valors globals. La línia negra horitzontal representa el valor mitjà mundial de variació del mar i la incertesa (línies discontinues),  $1.8 \pm 0.5 \text{ mm/y}$  per al període 1961-2003. Font: Elaboració pròpia.



A la Taula 4.5, es mostren els resultats obtinguts per a la regressió quadràtica, per tal de determinar, si les tendències augmenten o disminueixen (s'acceleren) a mesura que avancen els anys. Només els valors CANTÀBRIC i MEDITERRANI són estadísticament significatius, i l'acceleració és positiva al Mar Mediterrani ( $0.029 \pm 0.004 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ), pràcticament nul·la a l'Oceà Atlàntic i negativa al Mar Cantàbric ( $-0.024 \pm 0.007 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ ). Al conjunt GLOBAL de dades l'Acceleració és nul·la.

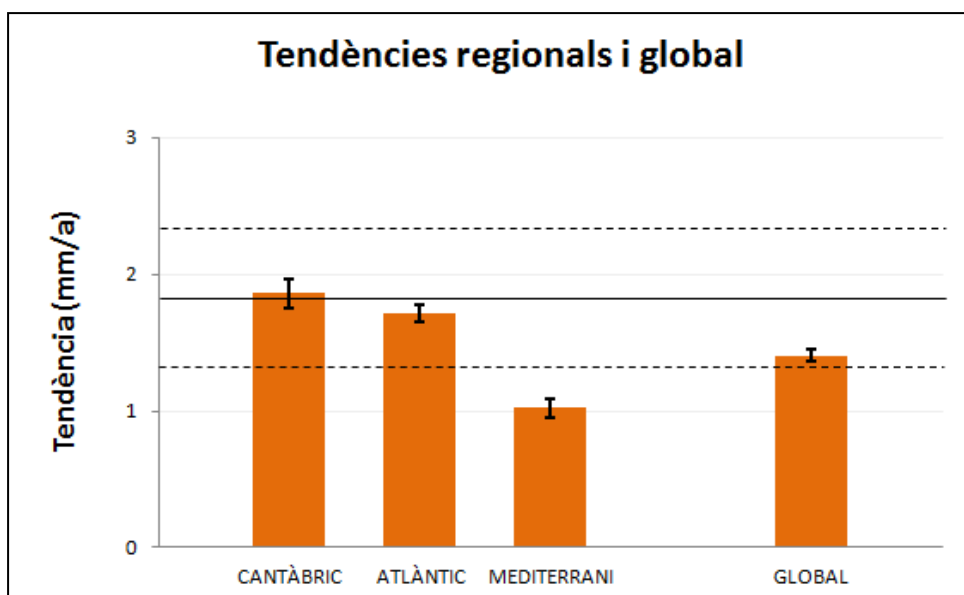
**Taula. 4.5: Tendències quadràtiques regionals i global.** Es mostren, el període per al qual s'ha calculat la regressió quadràtica, els valors de les tendències d'acceleració de les regionals d'estudi i el valor global, la incertesa d'aquest valor en, el valor P que indica la significació estadística i el coeficient  $R^2$  ajustat. Marcat amb \* són els p superiors a 0.05, i que per tant, no podem considerar significatives les tendències. Font: Elaboració pròpia.

Regió	Període	Tendència ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-2}$ )	Incertesa ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-2}$ )	Valor P	$R^2$ Ajust.
CANTÀBRIC	1943-2009	-0,024	0,007	0,0009	0,20
ATLÀNTIC	1882-2010	0,002	0,001	0,0731*	0,29
MEDITERRANI	1943-2011	0,029	0,004	6,1E-14	0,07
GLOBAL	1882-2011	0,001	0,001	0,2085*	0,17

Per tal de fer la comparació més significativa, s'ha realitzat el mateix procediment tot acotant el mateix període de dades a totes les regions (1943 - 2009). A la Taula 4.6 i Figura 4.3 es mostren els resultats per a la regressió lineal, tot ells amb una elevada significació estadística. Tant l'ATLÀNTIC com el CANTÀBRIC presenten valors superiors a la mitjana GLOBAL,  $1.72 \pm 0.06 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  i  $1.86 \pm 0.10 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  respectivament, i molt pròxims al valor mitjà mundial de  $1.8 \pm 0.5 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (1961-2003), mentre que el MEDITERRANI experimentaria una pujada del nivell del mar inferior amb un valor promig de  $1.02 \pm 0.06 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Al conjunt de la peninsular, el valor GLOBAL mostra un valor de  $1.40 \pm 0.05 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ .

**Taula. 4.6: Tendències lineals regionals i global per al període 1943-2009.** Es mostren els valors de les tendències de les regions d'estudi i el valor global, la incertesa d'aquest valor, el valor de p que indica la significació estadística i el coeficient  $R^2$  ajustat. Font: Elaboració pròpia.

Regió	Període	Tendència ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ )	Incertesa ( $\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ )	Valor P	$R^2$ Ajust.
CANTÀBRIC	1943-2009	1,86	0,10	6,7E-65	0,20
ATLÀNTIC	1943-2009	1,72	0,06	3,5E-136	0,12
MEDITERRANI	1943-2009	1,02	0,06	1,5E-47	0,05
GLOBAL	1943-2009	1,40	0,05	7,4E-206	0,09



**Figura. 4.3: Tendències regionals i global 1943-2009.** Es mostren les tendències calculades per al període 1943-2009, amb el seu interval de confiança, en mm/y, per al conjunt de dades de les regions i les globals. La línia negra horitzontal representa el valor mitjà mundial de variació del mar i la incertesa (línies discontinues),  $1.8 \pm 0.5$  mm/y per al període 1961-2003. Font: Elaboració pròpia.

A la Taula 4.7 es mostren els valors obtinguts per a la regressió quadràtica per a cadascuna de les tres regions i el total peninsular pel període 1943 - 2009, on s'observa que no presenten tendències rellevants, pròximes als  $0 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-2}$ .

**Taula. 4.7: Tendències quadràtiques regionals i global per al període 1943-2009.** Es mostren els valors de les tendències d'acceleració de les regions d'estudi i global, la incertesa d'aquest valor, el valor de p que indica la significació estadística i el coeficient  $R^2$  ajustat. Marcat amb \* són els p superiors a 0.05, i que per tant, no podem considerar significatives les tendències. Font: Elaboració pròpia.

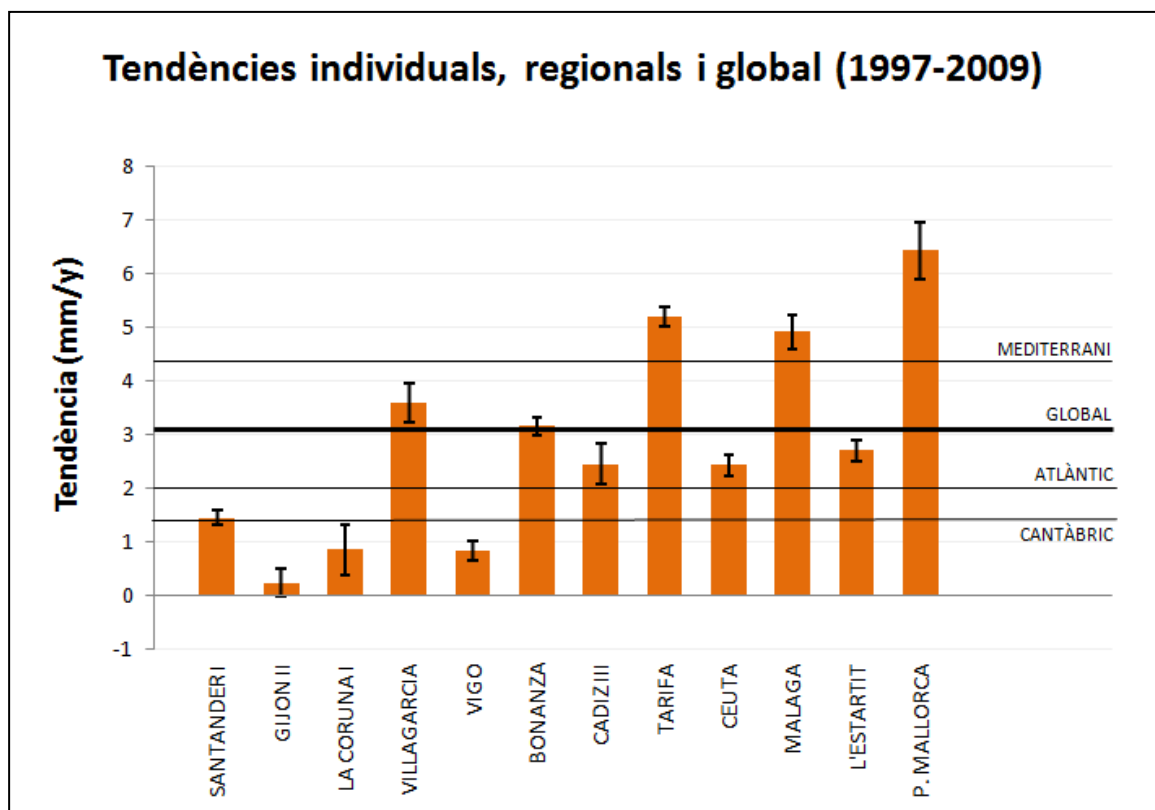
Regió	Període	Tendència ( $\text{mm} \cdot \text{a}^{-2}$ )	Incertesa ( $\text{mm} \cdot \text{a}^{-2}$ )	Valor P	$R^2$ Ajust.
CANTÀBRIC	1943-2009	-0,024	0,007	0,0009	0,20
ATLÀNTIC	1943-2009	0,003	0,004	0,4316*	0,12
MEDITERRANI	1943-2009	0,024	0,004	1,8E-09	0,06
GLOBAL	1943-2009	0,001	0,003	0,7082*	0,09

### 4.3 Tendències al període 1997-2009

Seguidament, es mostra el recull de valors obtinguts amb l'anàlisi del període 1997-2009, ambdós inclosos. En primer lloc, a la Taula 4.8 es resumeixen els valors numèrics de les tendències lineals, aquest cop ja comparables entre elles. Dues de les 12 estacions individuals (GIJON II i LA CORUNA I) no presenten tendències estadísticament significatives, així com el conjunt CANTÀBRIC. La resta de zones i estacions presenten tendències clarament positives, entre 2 i 6 mm·a<sup>-1</sup>, essent PALMA DE MALLORCA la que registra una major pujada, 6.4 ± 0.5 mm·a<sup>-1</sup>. Les diferents regions també registren valors positius, i en aquest cas, és el MEDITERRANI el que experimenta la pujada de més entitat, 4.2 ± 0.6 mm·a<sup>-1</sup>. El valor per al conjunt de la Península és de 3.0 ± 0.5 mm·a<sup>-1</sup>. La Figura 4.4 mostra la representació gràfica d'aquest valors.

**Taula. 4.8 Tendències lineals individuals, regionals i global per al període 1997-2009.** Es mostren els valors de les tendències de les diferents estacions que disposen dades, les Regions d'estudi i el valor global, la incertesa d'aquest valor, el valor de p que indica la significació estadística i el coeficient R<sup>2</sup> ajustat. Marcat amb \* són els p superiors a 0.05, i que per tant, no podem considerar significatives les tendències. Font: Elaboració pròpia.

Estació	Període	Tendència (mm·a <sup>-1</sup> )	Incertesa (mm·a <sup>-1</sup> )	Valor P	R <sup>2</sup> Ajust.
SANTANDER I	1997-2009	1,45	0,14	1,8E-18	0,39
GIJON II	1997-2009	0,24	0,25	0,3698*	0,00
LA CORUNA I	1997-2009	0,86	0,45	0,0685*	0,02
VILLAGARCIA	1997-2009	3,60	0,35	6,8E-18	0,40
VIGO	1997-2009	0,84	0,16	4,9E-06	0,12
BONANZA	1997-2009	3,16	0,16	2,6E-40	0,68
CADIZ III	1997-2009	2,46	0,37	9,2E-10	0,21
TARIFA	1997-2009	5,20	0,17	1,7E-64	0,85
CEUTA	1997-2009	2,43	0,16	3,1E-26	0,52
MALAGA	1997-2009	4,92	0,30	3,6E-34	0,62
L'ESTARTIT	1997-2009	2,71	0,19	1,9E-28	0,55
PALMA DE MALLORCA	1997-2009	6,43	0,53	1,2E-23	0,48
CANTÀBRIC	1997-2009	1,41	1,01	0,1646*	0,00
ATLÀNTIC	1997-2009	1,90	0,75	0,0116	0,01
MEDITERRANI	1997-2009	4,23	0,65	1,2E-10	0,04
GLOBAL	1997-2009	3,01	0,45	3,9E-11	0,02



**Figura. 4.4: Tendències lineals individuals, regionals i global 1997-2009.** En aquest gràfic es mostren la magnitud de les tendències calculades per al període 1997-2009, amb el seu interval de confiança, en mm/y, per a les estacions que disposen dades d'aquest període temporal. A més a més, amb les línies horitzontals es marca el valor de la tendència per al mateix període de cada una de les Regions, al igual que per al valor global. La línia negra corresponent a GLOBAL coincideix amb el valor mitjà mundial de variació del mar,  $3.2 \pm 0.4$  mm/y per al període 1992-2008 (CNES, 2009). Font: Elaboració pròpia.

De la mateixa forma que les tendències lineals, s'han calculat regressions quadràtiques (Taula 4.9).

Per a les estacions individuals (excepte SANTANDER I) tots els valors són estadísticament significatius, mentre que per als valors conjunts només ATLÀNTIC té un valor P inferior a 0.05. Els casos extrems són, PALMA DE MALLORCA amb una acceleració de la pujada del nivell del mar de  $1.96 \pm 0.04$  mm·a<sup>-2</sup>, valor molt destacable amb un R<sup>2</sup> de 0.98, i VILLAGARCIA, amb tendència a la desacceleració de la pujada del nivell del mar de  $1.07 \pm 0.07$  mm·a<sup>-2</sup>. És rellevant el valor per ATLÀNTIC amb una acceleració  $0.69 \pm 0.22$  mm·a<sup>-2</sup>.

**Taula. 4.9: Tendències quadràtiques individuals, regionals i global per al període 1997-2009.** Es mostren els valors de les tendències d'acceleració de les estacions individuals, de les regions d'estudi i la tendència global, la incertesa d'aquest valor, el valor de p que indica la significació estadística i el coeficient  $R^2$  ajustat. Marcat amb \* són els valors de p superiors a 0.05, i que per tant, no podem considerar significatives les tendències. Font: Elaboració pròpia.

Estació	Període	Tendència (mm·a <sup>-2</sup> )	Incertesa (mm·a <sup>-2</sup> )	Valor P	R <sup>2</sup> Ajust.
SANTANDER I	1997-2009	0,04	0,04	0,3454*	0,39
GIJON II	1997-2009	-0,75	0,05	5,8E-29	0,56
LA CORUNA I	1997-2009	1,54	0,06	2,1E-55	0,80
VILLAGARCIA	1997-2009	-1,07	0,07	2,5E-29	0,75
VIGO	1997-2009	0,18	0,06	0,0053	0,62
BONANZA	1997-2009	0,35	0,04	2,9E-13	0,77
CADIZ III	1997-2009	0,57	0,10	1,4E-07	0,34
TARIFA	1997-2009	0,11	0,05	0,0458	0,85
CEUTA	1997-2009	0,40	0,05	5,9E-15	0,67
MALAGA	1997-2009	-0,64	0,08	3,0E-14	0,74
L'ESTARTIT	1997-2009	0,45	0,05	5,3E-18	0,72
PALMA DE MALLORCA	1997-2009	1,96	0,04	1,5E-101	0,98
CANTÀBRIC	1997-2009	-0,30	0,31	0,3281*	0,00
ATLÀNTIC	1997-2009	0,69	0,22	0,0021	0,02
MEDITERRANI	1997-2009	-0,00	0,19	0,9897*	0,04
GLOBAL	1997-2009	0,15	0,14	0,2715*	0,02



## 5. Discussió

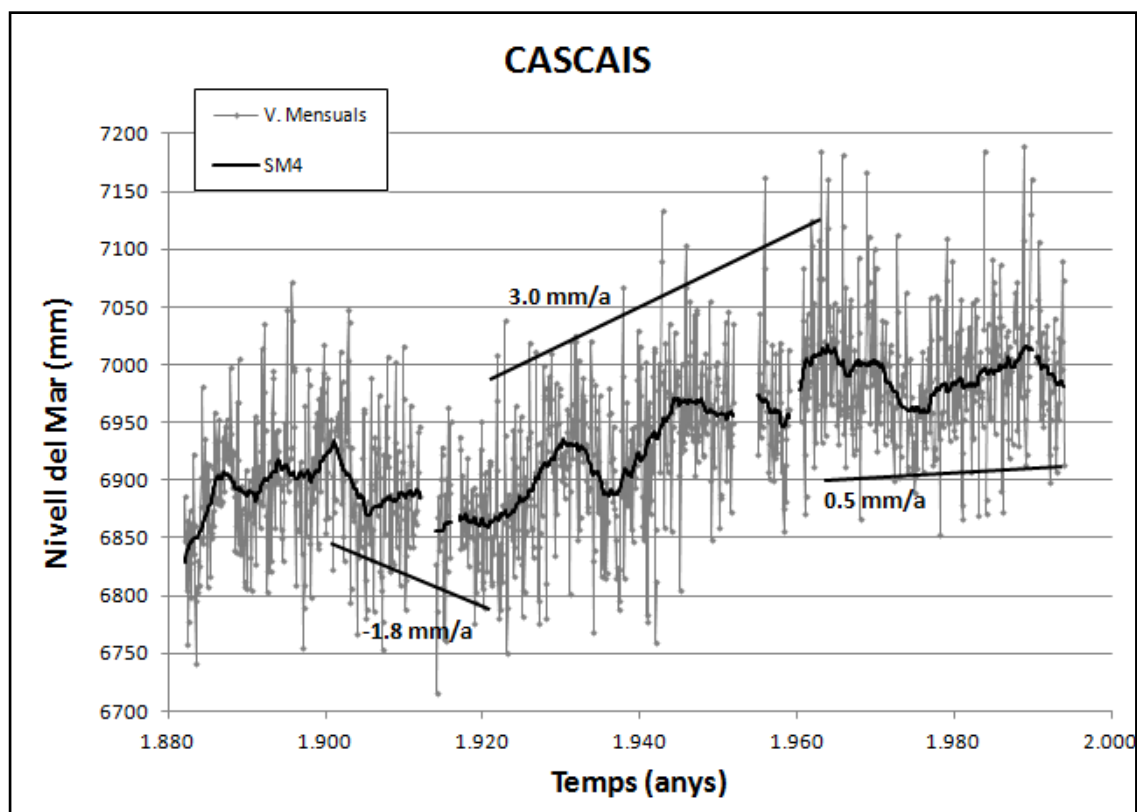
### 5.1. Tendències observades

Cal indicar que les sèries temporals corresponen a diversos períodes temporals, fet que requereix prendre les comparacions fetes amb cura. La tendència general en la Península Ibèrica és a un augment del nivell mitjà del mar a raó de  $3.0 \pm 0.5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  en el període 1943 - 2009, no obstant, no ho fa de manera continua. En primer lloc, presenta variacions estacionals, amb valors màxims en totes les estacions a finals d'estiu i principis de tardor (setembre i octubre), i mínim a finals d'hivern (febrer i març). L'expansió tèrmica dels mars i oceans és un dels factors més importants en la pujada del nivell del mar actual, contribueix en un 57% de l'augment del nivell mitjà del mar (IPCC, 2007), per tant, és lògic pensar que encara que sofrirà petites variacions, aquest patró anual és ocasionat majoritàriament per la variació en la temperatura del mar (expansió tèrmica) d'acord amb Barbosa i col·laboradors (2003)

En segon lloc, s'observa que hi ha períodes multianuals en els que el nivell del mar augmenta més ràpid, altres en els que no experimenta canvis importants o fins i tot baixa, com per exemple podem veure en la sèrie temporal de CASCAIS (veure Figura 5.1). Aquests canvis de tendència es poden veure també en estacions pròximes, i fins i tot en les dades regionals. El factor més important d'aquest fet és l'expansió tèrmica de les masses oceàniques, però de forma suavitzada per la gran inèrcia que presenta l'aigua al emmagatzemar el calor (IPCC, 2007)

Encara que ja hem vist que la Península Ibèrica presenta moviments verticals continentals, com per exemple una subsidència al litoral mediterrani quantificada en  $0.22 \pm 0.51 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  (Zerbini et al, 1996). No obstant, la dada no dona prou informació com per determinar el valor eustàtic. S'ha de tindre en compte que les estacions mareogràfiques mesuren el canvi respecte la terra, el impacte real a les costes que és el que interessa actualment a la comunitat científica. Només podrien ocasionar interferències en la interpretació si aquests moviments foren diferents entre estacions, no obstant, actualment no es tenen registres tan acurats d'aquest moviments i per tant no els podem considerar.

Segons les dades, el nivell del mar puja de forma diferent depenent del temps i l'espai, és a dir, que el nivell del mar no varia de la mateixa forma en tots els indrets del litoral.



**Figura. 5.1: Sèrie temporal CASCAIS.** Es mostren els valors mensuals de la sèrie temporals de CASCAIS amb la *Sliding Mean* 4 anys. Les línies mostren les tendències de diferent períodes temporals. Font: Elaboració pròpia.

Per aquest motiu es van agrupar les estacions en regions, per poder veure si el comportament era diferent per a diferent masses d'aigua. El resultat, com es va veure, per al període 1943 - 2009, és que l'Atlàntic i el Cantàbric augmenten el seu nivell mitjà més ràpidament que el Mediterrani, a un ritme de  $1.7 \pm 0.1 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  i  $1.9 \pm 0.1 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , respectivament, més ràpidament que al Mediterrani ( $1.0 \pm 0.1 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ). Un dels factors que pot haver contribuït a aquest fet, són les tendències atmosfèriques durant aquest període, a més a més de l'efecte de l'expansió tèrmica. Un dels factors importants a tenir en compte és l'índex NAO, que en cas de presentar-se amb valors molt positius, com ho va fer a les dècades dels 80 i 90's, provoca una disminució de la pressió atmosfèrica al NW de la Península i per l'efecte baromètric invertit, un augment més marcat del nivell mitjà del mar, que no es notaria al Mediterrani on amb valors de NAO positiu les pressions són més elevades (Barbosa, 2011).

No obstant, en el posterior anàlisi per als últims anys de registres, durant el període 1997-2009, s'ha observat que l'efecte s'ha invertit, en aquest cas és el Mar Mediterrani és que augmenta més ràpidament, a raó de  $4.2 \pm 0.6 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , mentre que a la resta de la Península augmenta a ritmes pròxims als  $2 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ . També és remarcable l'acceleració que ha sofert el nivell del mar en algunes estacions del Mediterrani, com és el cas de PALMA DE MALLORCA, on s'ha aproximat a  $2 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-2}$ . Un dels factors que pot haver tingut efecte en aquest fet



és el sobreescalfament que ha sofert el mediterrani a finals del segle XX i principis del segle XXI, així com l'efecte baromètric invertit, ja que en aquest període l'Índex NAO era negatiu, i per tant, amb baixes pressions al mediterrani (Gomis et al., 2008). Durant el període 1973 - 2005, el Mar d'Alboran s'ha escalfat a un ritme de  $0.02^{\circ}\text{C}$ , mentre que el Mediterrani a l'Estartit a  $0.03^{\circ}\text{C}$  (Vargas-Yañez et al., 2005). Aquest fet pot ser un indicatiu que l'escalfament del Mar Mediterrani, al ser un mar semitancat i presentar canvis de temperatura més ràpids, sigui major que el de l'Atlàntic on la inèrcia és molt major, i que per tant, per efecte de l'expansió tèrmica, l'augment del nivell del mar hagi segut major al Mediterrani que a l'Atlàntic i al Cantàbric.

Les tendències a l'acceleració, han resultat valors destacables en algunes estacions individuals de períodes d'estudi curts, no s'hi poden interpretar per treure una conclusió general. No obstant, si que s'ha observat que en l'últim període (1997 - 2009) les acceleracions són més marcades. Aquest fet té dues possibles explicacions, un període de NAO positiu entre 1995 i 2003, i una resposta a l'augment de la temperatura ambiental per sobre de lo normal durant aquest mateix període. Amb les dades i l'anàlisi presentat no es pot concloure que el nivell del mar s'estigui accelerant o desaccelerant, ja sigui perquè no són comparables entre elles o perquè no hagin assolit els criteris de significació estadística. Són, però, destacables els casos de PALMA DE MALLORCA i LA CORUNA, i també el conjunt ATLÀNTIC, amb una acceleració  $0.69 \pm 0.22 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-2}$ , possiblement degut als factors explicats anteriorment.

## 5.2. Comparativa amb els valors publicats.

En general, el nivell del mar a les costes de la Península Ibèrica presenta un comportament molt semblant al de la resta del món. Evidentment, és un fet que és difícil de comparar pel gran nombre de factors que intervenen en el nivell mitjà del mar i la diferent escala a la que intervenen, per exemple la isostàsia glacial, que només es dona en les regions polars, mentre que el desglaç repercuteix a nivell mundial.

Segons l'IPCC, com organisme encarregat d'avaluar les qüestions relacionades amb el canvi climàtic actual i per tant, la variació del nivell del mar, el valor mitjà mundial del nivell del mar ha augmentat a un ritme de  $1.8 \pm 0.5 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  entre 1961 i 2003, mentre que el període 1993 - 2003 el valor és de  $3.1 \pm 0.7 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$ . Aquests valors s'han revisat recentment amb mesures de Satèl·lits i des d'octubre de 1992 fins l'actualitat, s'ha calculat que l'augment del nivell del mar és de  $3.2 \pm 0.7 \text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}$  (CNES, 2012).

Si recalculém les tendències del nostre estudi, acotant el període 1961 - 2003, en les regions estudiades l'augment del nivell del mar era inferior al valor mitjà

mundial, tot oscil·lant entre 1.0 i 1.2 mm·a<sup>-1</sup>, essent el Cantàbric el que més augmentava, sis dècimes per sota que el valor mitjà mundial, mentre que el valor global per a la Península Ibèrica era vuit dècimes per sota. No obstant, per al període 1993 - 2003, passava al contrari, amb valors entre 3.3 i 3.9 mm·a<sup>-1</sup>, essent el valor global peninsular set dècimes per sobre del registre mundial.

Si comparem amb els valors publicats per al Mar Mediterrani, per al període 1943 - 2009, el valor resultant (1.11 ± 0.13 mm·a<sup>-1</sup>) està en concordança amb el valors publicats per al període 1950 - 2008, per al conjunt del Mar Mediterrani que són entre 0.6 i 1.6 mm·a<sup>-1</sup> (entre 0.8 i 1.2 mm·a<sup>-1</sup> al Mediterrani Occidental) (Calafat et al., 2011). A més a més, també és interessant la comparació amb valors calculats del Mar Negre, on la tendència per al període 1946 - 1985, és molt més elevada de 2.7 mm·a<sup>-1</sup>. No es poden treure conclusions concretes d'aquestes diferències ja que són períodes diferents, no obstant, és lògic trobar comportaments diferents ja que el Mar Negre és un Mar semitancat, dintre del Mar Mediterrani. S'observen resultats molt semblants per l'últim període estudiat (1997 - 2009), on segons els nostres càlculs el nivell mitjà del mar ha variat a raó de 4.2 ± 0.6 mm·a<sup>-1</sup>, mentre que s'han publicat tendències per al període 1993 - 2000, 4.0 ± 0.7 mm·a<sup>-1</sup> (Gomis et al., 2008).

### 5.3. Projeccions del nivell del mar futur

L'IPCC proposa diferents escenaris per al futur depenent les concentracions de CO<sub>2</sub> corresponents al forçament radiatiu per efecte de GEH i aerosol antròpics, de tal manera que els escenaris B1, A1T, B2, A1B, A2 y A1FI corresponen a concentracions de 600, 700, 800, 850, 1250 i 1550 ppm de CO<sub>2</sub>, respectivament (IPCC, 2007). A la Taula 5.1 es mostren els valors d'augment del nivell del mar segons els model emprats per l'IPCC.

**Taula. 5.1: Projeccions de l'augment del nivell del mar per al final del segle XXI.** Font: IPCC.

Escenari	Canvi temperatura (°C) (2090-99 respecte 1980-99)		Canvi nivell del mar (cm) (2090-99 respecte 1980-99)
	Estimació òptima	Interval probable	
B1	1.8	1.1 - 2.9	18 - 38
A1T	2.4	1.4 - 3.8	20 - 45
B2	2.4	1.4 - 3.8	20 - 43
A1B	2.8	1.7 - 4.4	21 - 48
A2	3.4	2.0 - 5.4	23 - 51
A1FI	4.0	2.4 - 6.4	26 - 59

Fent servir les tendències obtingudes per al període 1943 - 2009, i assumint que són constants, s'han calculat l'augment del nivell del mar, per als anys 2050 i 2100 si no canviessin les actuals. S'ha de tenir en compte que l'IPCC pronostica una acceleració de les tendències, per tant, els valors que es mostren a continuació són només orientatius.

**Taula. 5.2: Projeccions calculades per 2050 i 2100 de l'augment del nivell del mar.** Es mostren els valors calculats per a les regions d'estudi. Font: Elaboració pròpia.

Regió	Augment 2050 (cm)	Error 2050 (cm)	Augment 2100 (cm)	Error 2100 (cm)
CANTÀBRIC	13.8	0.8	23.0	1.3
ATLÀNTIC	12.7	0.5	21.3	0.8
MEDITERRANI	7.6	0.5	12.7	0.9
GLOBAL	10.4	0.3	17.4	0.6

Com es pot observar, els valors obtinguts són semblants als pronosticats per l'IPCC en l'escenari B1, és a dir, si la concentració de CO<sub>2</sub> augmenta fins 600 ppm.

## 5.4. Impactes a les costes ibèriques i catalanes

Un cop calculat tots els valors sobre les tendències i el futur d'aquestes, resta reflexionar sobre els possibles impactes més importants d'aquest augment del nivell del mar a les costes de la Península Ibèrica, fent especial èmfasi a la costa catalana.

Els impactes més rellevants respecte una pujada del nivell del mar són molt complexes, des del simple risc d'inundació fins a una major influència de les tempestes i marees meteorològiques, fins a la composició química de l'aigua i per tant, afectacions a l'ecosistema marí. Podem distingir dos tipus d'impactes: biofísics-ambientals i socioeconòmics:

**Impactes biofísics-ambientals.** Segons l'IPCC, un augment del nivell del mar com el pronosticat, implicaria un major risc d'inundació a les zones costaneres, no tan sols pel propi augment del nivell mitjà, sinó també per un augment de les inundacions per grans onatges i marees meteorològiques, per tant, són vulnerables zones baixes com el Golf de Cádiz, el Golf de Valencia o el Delta de l'Ebre serien vulnerables. També es reflectiria en una major erosió costanera i, per tant, un impacte sobre els ecosistemes costaners. També ocasionaria un augment de la intrusió salina, amb la conseqüent contaminació d'aqüífers i canvis en la composició fisicoquímica de l'aigua dels ecosistemes costaners.

Finalment, és possible que ens produeixin alteracions dels corrents marins que, poden afectar a la dinàmica litoral i els ecosistemes costaners.

**Impactes socioeconòmics.** Segons l'IPCC els impactes més importants són la pèrdua de fonts d'aliment, d'energia renovable, pèrdua de sòl, disminució del turisme i oci, malbaratament d'infraestructures de transport, augment de risc de malalties i de la seva transmissió, disminució dels ingressos econòmics de tots tres sectors econòmics, majors costos d'extracció d'aigua potable del subsòl en un medi on ja és escassa, majors costos de protecció i defensa de la costa, pèrdua de zones d'assentament costaner i pèrdues humanes per risc d'inundació.

S'ha de tenir en compte que, actualment la major part de la població viu en zones costaneres, i per tant són vulnerables a aquests canvis. A més a més, el litoral és ric en ecosistemes singulars que es veurien greument amenaçats per inundació. Només com a exemple, un augment del nivell mitjà en 50 cm, al Cantàbric oriental suposaria la inundació de 23.5 km<sup>2</sup>, la desaparició del 50% de la superfície del Delta del L'Ebre i del Llobregat, o afectació a 100 km<sup>2</sup> de marjals a Doñana (Cendrero et al., 2005).

Davant d'aquests canvis es prenen estratègies de gestió costanera, les quals ha de tenir en compte la geomorfologia, l'ecologia i l'economia de cada tram de costa, de manera conjunta amb les infraestructures existents i la percepció social i valors culturals dels habitants de la zona. De manera que distingim tres tipus de estratègies possibles:

**De retrocés.** Es tracta d'una reubicació dels usos del sòl, de manera que tot quedaria allunyat dels trams de costa que suposen un perill. Aquesta mesura requereix d'una gran quantitat de sòl, que en molts casos no es disposa, donada la elevada ocupació del sòl de la costa i un gran cost econòmic.

**D'adaptació.** Aquest tipus d'estratègia consisteix en augmentar la variable social del risc ambiental, de manera que requereix d'una gran flexibilitat econòmica i social. Per exemple, com a lluita en contra d'un augment de l'erosió, una bona mesura consisteix en revegetar aquelles zones que hagin quedat nues i estiguen en perill, i també, les zones de penya-segat, disposar d'estructures el més natural possible en la plataforma d'abrasió, i així disminuir l'energia amb la qual arriba l'onatge a la base del penya-segat.

**De defensa o protecció.** Consisteix en la construcció d'infraestructures que protegirien el litoral en zones específiques i de manera local. Implica una inversió de diners important, tant en forma de costos inicials com de manteniment, tot i això és una de les estratègies més acceptades per la societat. S'ha de tenir en compte que, de les comentades, són les mesures que més impacten el medi.

Així doncs, cal concloure que la millor actuació és una combinació de totes tres estratègies, valorant en cada cas la millor opció, de manera que es realitzi dintre del marc d'una gestió integral de la zona costanera que tingui en compte el dinamisme intrínsec del litoral mateix.



## 6. Conclusions

Després d'analitzar i interpretar el valors del canvi del nivell mitjà del mar a la Península Ibèrica durant l'últim segle, s'han arribat a les següents conclusions:

A la Península Ibèrica, de forma global, en nivell mitjà del mar ha augmentat durant l'últim segle. Durant el període 1943 - 2009 (67 anys), ha augmentat a raó de  $1.40 \pm 0.05 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ . Això suposa una pujada en aquest mateix període de  $94 \pm 3 \text{ mm}$ . No obstant, en l'últim període analitzat, 1997 - 2009 la tendència d'augment gairebé es duplica ( $3.0 \pm 0.5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ) de manera que en aquests 13 anys ha augmentat  $39 \pm 6 \text{ mm}$ , a un ritme força semblant al valor promig mundial ( $3.2 \pm 0.7 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ). No s'han trobat ajustament quadràtics significatius, no obstant si que s'aprecia que en períodes més recents les tendències són més elevades. En cap cas s'han detectat acceleracions significatives estadísticament d'aquestes tendències.

A nivell regional, cal destacar el comportament desigual del Mar Mediterrani respecte l'Oceà Atlàntic i el Mar Cantàbric. En el període 1943 - 2009, el nivell mitjà del mar augmentava a raó de  $1.72 \pm 0.06 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  i  $1.86 \pm 0.10 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$  a l'Oceà Atlàntic i el Mar Cantàbric, respectivament, mentre que al Mar Mediterrani ho feia més lentament ( $1.02 \pm 0.05 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ). No obstant, entre 1997 i 2009, el Mar Mediterrani augmenta el ritme de pujada fins un valor promig de  $4.23 \pm 0.65 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , el que suposa una pujada de 46.54 a 63.83 mm en només 13 anys, mentre que l'Oceà Atlàntic i el Mar Cantàbric es mantenen en valors semblants. Cal destacar, l'acceleració que experimenta l'Oceà atlàntic durant aquest mateix període, de l'ordre de  $0.69 \pm 0.22 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-2}$ .

Respecte les tendències individuals, destacar la variabilitat local del fenomen, però que en l'últim període estudiat (1997 - 2009), marca una tendència al augment del nivell mitjà del mar major per a les estacions situades al Mar Mediterrani, essent el cas de PALMA DE MALLORCA destacable amb  $6.43 \pm 0.53 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ , amb una acceleració observada de  $1.96 \pm 0.04 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-2}$ . També es destacable l'acceleració observada a LA CORUNA amb  $1.54 \pm 0.06 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-2}$ .

Pel que respecta a les projeccions futures, és pot concloure que, segons els valors calculats en aquest estudi, de mantenir-se les tendències del període 1943 - 2009, en el conjunt de la Península Ibèrica el nivell mitjà del mar augmentaria per a l'any 2050  $104 \pm 30 \text{ mm}$  i per a l'any 2100 entre  $174 \pm 60 \text{ mm}$ .

Aquests resultats ofereixen una visió global, regional i local de les mesures del nivell del mar a la Península Ibèrica. Cal esmentar que, independentment de les raons de l'augment i la complexitat dels fenòmens responsables, els valors observats localment son d'una enorme rellevància per els gestors de les zones costaneres.



## 7. Perspectives futures del treball

Un cop conclòs el treball, es descriuen els aspectes que permeten una millora en el futur. En primer lloc, cal ampliar la xarxa de mareògrafs. S'ha considerat adequat el nombre i distribució de mareògrafs a les costes cantàbriques, a l'Atlàntic espanyol i a la zona de l'Estret de Gibraltar. No obstant, s'ha considerat insuficient en nombre d'estacions a les costes valencianes i catalanes, i a les del centre de Portugal. En el Mediterrani, es proposa com a possible ubicació el Delta de l'Ebre, per ser una zona molt vulnerable i amb una dinàmica d'interès. Pel que respecta a Portugal, es creu interessant la ubicació d'un mareògraf entre les estacions actuals de AVEIRO i CASCAIS, ja que es tracta d'un tram de litoral força extens sense estacions. A més a més, es necessita una actualització de les dades disponibles fins a temps més recents, ja que moltes de les estacions deixen de tenir-ne a la dècada dels 90.

La tecnologia que s'utilitza per avaluar canvis en el nivell del mar ha avançat molt. Un exemple clar és la informació mitjançant satèl·lits. Són nombroses les agències internacionals que s'encarreguen de gestionar aquesta informació i proporcionen gràfics i valors finals als mitjans de comunicació. No obstant, s'ha d'afavorir l'accés a la informació neta (valors numèrics), tant zonal com global, per tal de millorar la informació per a la recerca i estudis sobre l'assumpte. Aquest aspecte obre un debat més profund sobre la disponibilitat de les dades obtingudes amb fons públics.

Amb tot això, en un futur els nous resultats poden resoldre dubtes actuals i proporcionar informació molt interessant, ja que es disposaran de sèries temporals més llargues. Per exemple, els valors de les acceleracions de les tendències, que en aquest estudi no han permès treure conclusions globals gaire significatives, donat la curta durada dels períodes estudiats, en treballs futurs poden donar llum a resultats en la direcció del que es pronostica actualment des de l'IPCC.

Un altre camp en el que hi ha mancança d'informació, pot ser per la seva complexitat, són els moviments verticals d'escorça. Les informacions disponibles en l'actualitat són estimacions a una escala molt gran. Tot i que el cost econòmic podria ser elevat, seria convenient un estudi més detallat, mitjançant instrumental de GPS de precisió, de les variacions de l'escorça terrestre a nivell més local, fent estudis específics. En aquest sentit seria òptim col·locar GPS juntament amb els mareògrafs per tal d'obtenir una informació complementària que permetés avaluar amb precisió la pujada del nivell del mar.

És important destacar que la major part dels mareògrafs es troben situats en infraestructures portuàries, per això s'ha d'estudiar per a pròxims casos (i detectar en els ja existents) com pot afectar a les mesures dels mareògrafs canvis en l'estructura dels ports, canvis en els corrents interns, acumulació de sediments, trànsit diari, etc... que poden proporcionar dades errònies que serien interpretades com a variacions reals del nivell del mar quan estarien proporcionant variacions locals degudes a les dinàmiques portuàries.

Cal fer èmfasi en l'efecte que la població de la costa ocasiona i ocasionarà en un futur. Nosaltres mateixos i els nostres assentaments provoquem canvis en la costa: ocupació i impermeabilització del sòl, extracció de recursos hídrics dels aqüífers costaners, construcció d'infraestructures, canvis en la dinàmica litoral, etc. És important saber com això pot afectar al canvi en el nivell del mar, i com el canvi del nivell mitjà del mar pot afectar a aquests fets. Per això, es creu convenient la realització d'estudis específics de com afecten aquest canvis antròpics en el medi litoral al nivell mitjà del mar. Per exemple, saber com l'extracció d'aigua dels aqüífers litorals produeix la subsidència d'aquest i per tant, interfereix en el la tendència de moviment vertical de l'escorça. La major part dels mareògrafs es troben situats en infraestructures portuàries i s'hauria d'estudiar com pot afectar a les mesures dels mareògrafs canvis en l'estructura dels ports, canvis en els corrents interns, acumulació de sediments, transit diari, etc. S'hauria d'estimular la instal·lació de mareògrafs en zones més protegides i fora d'impactes antròpics directes.

# Pressupost

## Recursos humans

Hores dedicades .....	15h setmanals x 17setmanes = 255h
Preu hora <sup>1</sup> .....	16€
Hores assessorament professional .....	3h setmanals x 17setmanes = 51h
Preu hora <sup>1</sup> .....	20€
<b>Total recursos humans</b>	<b>5100€</b>

## Material presentació

500 fulls paper <sup>2</sup> .....	4€
Impressió .....	200 x 0.04€/u. = 8€
Enquadernació <sup>3</sup> .....	4 x 3€/u. = 12€
4 CD <sup>2</sup> .....	2.4€
<b>Total material presentació</b>	<b>26.4€</b>

**Costos variables** **5128.4€**

**Costos fixos (20% costos variables)** **1026.9€**

**Total** **6155.3€**

IVA +21%

**Total Projecte** **7447.91€**

<sup>1</sup> Guia d'honoraris professionals 2006, Col·legi Ambientòlegs de Catalunya.

[http://www.coamb.org/arxius/guia\\_honoraris\\_professionals\\_2006.pdf](http://www.coamb.org/arxius/guia_honoraris_professionals_2006.pdf)

<sup>2</sup> Preus Abacus

<sup>3</sup> Pressupost Copisteria Facultat de Ciències (UAB)

## Acrònims

**BP:** *Before Present*. Abans del present.

**GEH:** Gasos d'Efecte Hivernacle.

**GPS:** *Global Positioning System*. Sistema de Posicionament Global.

**IEO:** Instituto Español de Oceanografía.

**IGN:** Instituto Geográfico Nacional.

**IPCC:** *Intergovernmental Panel on Climate Change*; Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic

**PSMSL:** *Permanent Service for Mean Sea Level*. Servei Permanent del Nivell Mitja del Mar.

**RLR:** *Revised Local Reference*. Referència Local Corregida.

**SM4:** *Sliding Mean* (4anys) ; Mitjana mobil de 4 anys.

## Pla de treball

	Febrer		Març				Abril					Maig				Juny				Juliol		Setembre	
Tasca	20	27	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	3	10
Recerca Informació																							
Índex																							
Pla de treball																							
Pressupost																							
Sol·licitud dades																							
Objectius																							
Antecedents																							
Justificació/Prefaci																							
Metodologia																							
- Informació Mareògrafs																							
- Tractament estadístic																							
Resultats																							
- Tendències																							
Discussió																							
- Registres																							
- Comparació d'escales																							
- Projeccions/Impactes																							
Conclusions																							
Perspectives de futur																							
Acrònims/P.claus																							
Revisió final																							
Impr./enquadració																							
Entrega																							
Elaboració PowerPoint																							
Defensa																							

## Bibliografia

### Articles:

ALONSO-CHAVES, F.M., SOTO, J., OROZCO, M., KILIAS, A. A. and TRANOS, M.D. (2004) "Tectonic evolution of the Betic cordillera: An overview". *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXVI.

ANTUNES, C. and TABORDA, R., (2009). "Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results". *Journal of Coastal Research, SI 56 (Proceedings of the 10th International Coastal Symposium)*, 218-222.

BARBOSA, S. M., FERNANDES, M. J., SILVA, M. E., (2004). "Estudo da variação do nível do mar a partir de medidas do marégrafo de Cascais", *4ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica*.

BARBOSA, S.M., (2011) "Atmospheric correction of satellite altimetry observations and sea-level variability in the NE Atlantic", *Advances in Space Research*.

BINDOFF, N.L., J. WILLEBRAND, V. ARTALE, A. CAZENAVE, J. GREGORY, S. GULEV, K. HANAVA, C. LE QUERE, S. LEVITUS, Y. NOJIRI, C.K. SHUM, L.D. TALLEY and A. UNNIKRIISHNAN, (2007): "Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level". In: "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". *Cambridge University Press, Cambridge*.

CALAFAT, F.M., GOMIS, D. (2009) "Reconstruction of Mediterranean sea level fields for the period 1945–2000". *Global and Planetary Change* 66 225–234

CALAFAT, F.M., JORDA, D. (2011) "A Mediterranean sea level reconstruction (1950–2008) with error budget estimates". *Global and Planetary Change* 79 118–133

CEDRERO, A., SANCHEZ-ARCILLA, A., ZAZO, C., BARDAJI, T., DABRIO, C.J., GOY, J.L., JIMENEZ, C., MOSSO, J., RIVAS, V., SALAS, J.P., SIERRA, J.P., VALDEMORO, H. (2005). "Impactos sobre las zonas costeras." En: "Evaluación Preliminar Impacto sobre el Cambio Climático en España". *Ministerio de Medio Ambiente, España*.

MUHS, D. R., SIMMONS R., SCHUMANN, R. R., HALLEY, R. B. (2011) "Sea-level history of the past two interglacial periods: new evidence from U-series dating of reef corals from south Florida". *Quaternary Science Reviews* 30 570e590

DOMINGUES, C.M., CHURCH, J.A., WHITE, N.J., GLECKER, P.J., WIJFFELS, S.E., BARKER, P.M., DUNN, J.R., (2008). "Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise". *Nature* 453, 1090–1094.

DOUGLAS, B. C. (2001), "Sea level change in the era of the recording tide gauge, in *Sea Level Rise: History and Consequences*". *Geophys. Ser.*, vol. 75.

GOMIS, D., RUIZ, S., SOTILLO, M.G., ALVAREZ-FANJUL, E., TERRADAS, J., (2008). "Low frequency Mediterranean sea level variability: the contribution of atmospheric pressure and wind". *Global and Planetary Change* 63 (2–3), 215–229.

GORIACIKIN, I.N and IVANOV, V.A., (2006) "Black Sea level: past, present, future". *EKOCl-Gidrofizica, Sevastopol*, pp.210.

GORNITZ, V., (1995): "Sea-level rise: A review of recent past and near-future trends". *Earth Surf. Proc. Landforms*, 20, 7-20.

HOLGATE, S. J., (2007) "On the decadal rates of sea level change during the twentieth century" *Geophysical research letters*, VOL. 34,

IPCC, (2007): "Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

MEEHL, G.A., T.F. STOCKER, W.D. COLLINS, P. FRIEDLINDSTEIN, A.T. GAYE, J.M. GREGORY, A. KITOH, R. KNUTTI, J.M. MURPHY, A. NODA, S.C.B. RAPER, I.G. WATTERSON, A.J. WEAVER and Z.-C. ZHAO, (2007). "Global Climate Projections". In: "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. *Cambridge University Press*,

SANTAMARIA-GOMEZ, A., GRAVELLE, M., COLLILIEUX, X., GUICHARD, M., MIGUEZ, B. MARTIN, TIPHANEAU, P., WOPPELMMAN, G., (2012). "Mitigating the effects of vertical land motion in tide gauge records using a state-of-the-art GPS velocity field", *Global and Planetary Change*.

ZERBINI, S. PLAG, H-P. BAKER, T., BECKER, M., BILLIRIS, H., BIIRKI, B., MARSON, I., PEZZOLI, L., RICHTER, B., TOMASI, P., TSIMPLIS, M., VEIS, G., VERRONE, G., (1996). "Sea level in the Mediterranean: a first step Towards separating crustal movements and absolute sea-level variations". *Global and Planetary Change*, 14, 1-48.

## Llibres:

BOLÓS, Oriol de (1972): *La vegetació del Montseny*. Barcelona: Diputació de Barcelona. Servei de Parcs Naturals. 170 pàgines.

HARDY, John T (2003): *Climate change : causes, effects, and solutions*. New York : Wiley, cop. 247 pàgines.

JACQUES, Guy i LE TREUT, Hervé (2004): *Le changement climatique*. (Traducció) Barcelona : Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. 160 pàgines.

LLEBOT, Josep Enric (2010): *Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge. 1152 pàgines.

PEÑA, Daniel (2005): *Anàlisis de series temporales*. Madrid: Alianza editorial. 570 pàgines.

PUGH, David T. (1987): *Tides, Surges and Mean Sea-Level*. Bath press. Avon.

SHUMWAY, Robert H i STOFFER, David S (2006): *Time Series Analysis and Its Application*. USA, Springer. 575 pàgines.

STORCH, Hans von i ZWIERS, Francis W (1999). *Statistical analysis in climate research*. New York : Cambridge University Press. 484 pàgines.

## Recursos Multimedia:

<http://www.seadatanet.org/>

<http://www.psmsl.org/data/obtaining/>

[http://www.puertos.es/oceanografia\\_y\\_meteorologia/redes\\_de\\_medida/index.html](http://www.puertos.es/oceanografia_y_meteorologia/redes_de_medida/index.html)

[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html)

<http://indamar.ieo.es/>

[http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_CLS-LEGOS-CNES\\_MeanSeaLevel1992-2008.html](http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_CLS-LEGOS-CNES_MeanSeaLevel1992-2008.html)

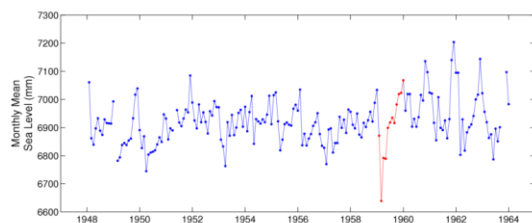
<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml>



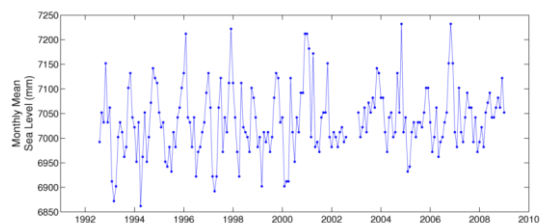
## ANNEX I

Representació gràfica de les sèries temporals de l'estudi. Font: PSMSL

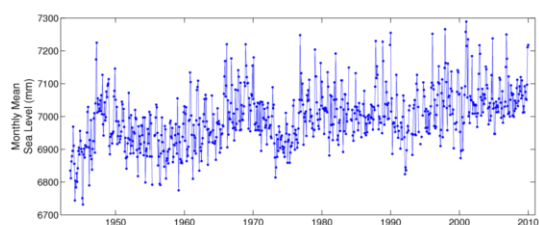
PASAJES



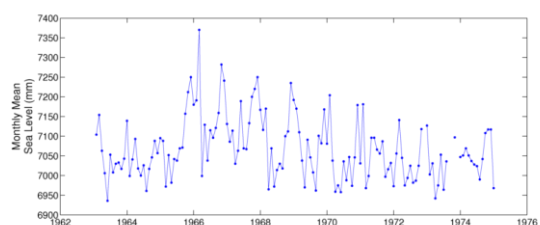
BILBAO



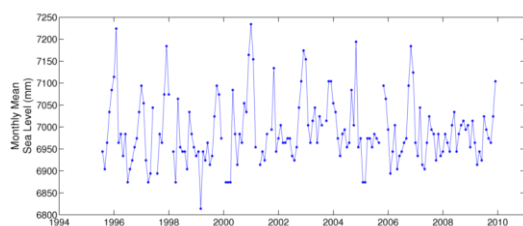
SANTANDER I



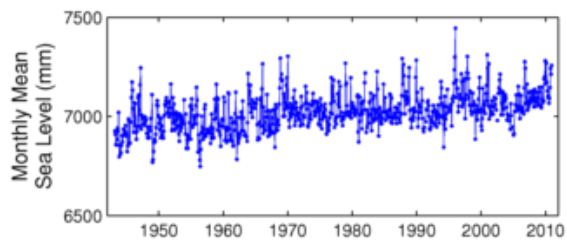
SANTANDER II (Exclosa)



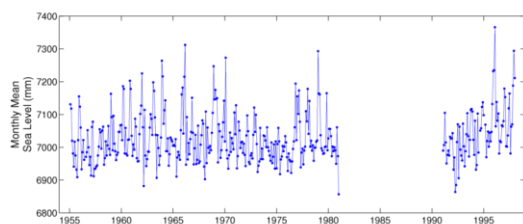
GIJON II



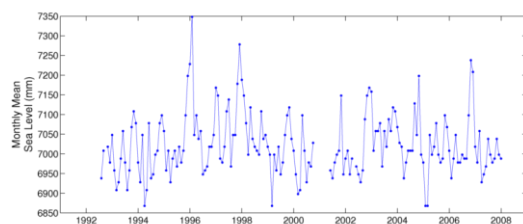
LA CORUNA I



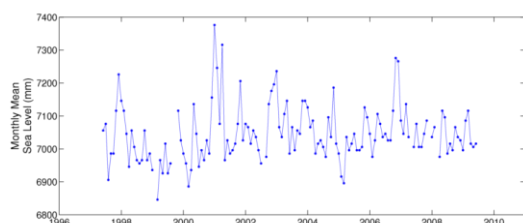
LA CORUNA II (Exclosa)



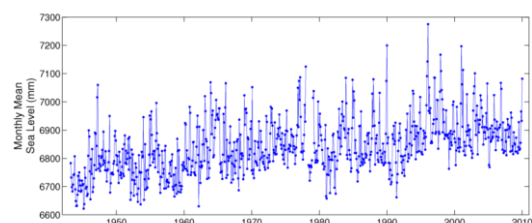
LA CORUNA III (Exclosa)



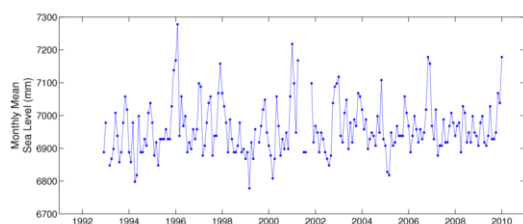
## VILLAGARCIA



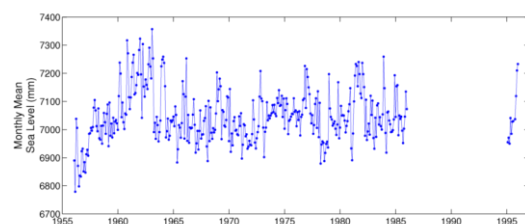
## VIGO I



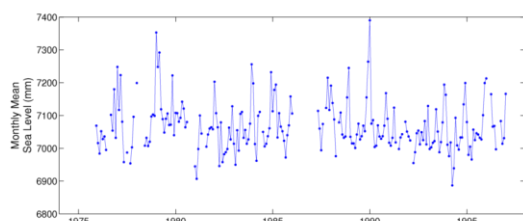
## VIGO II (Exclosa)



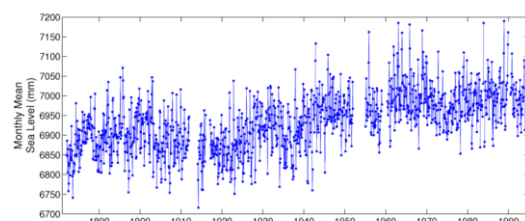
## LEIXOES



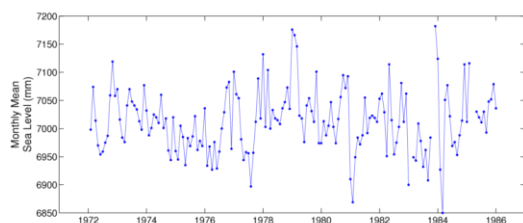
## AVEIRO



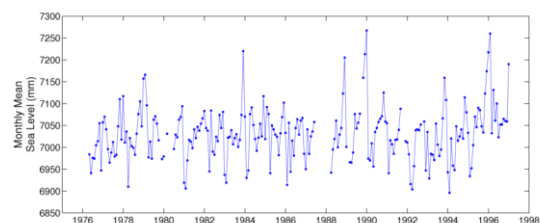
## CASCAIS



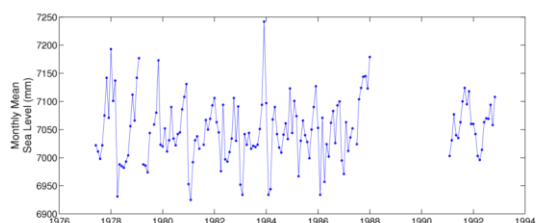
## LISBON



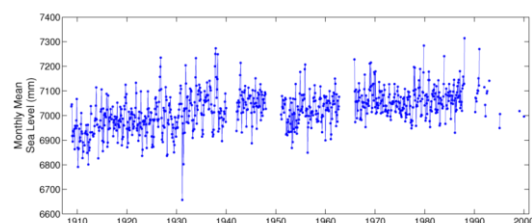
## SETROIA

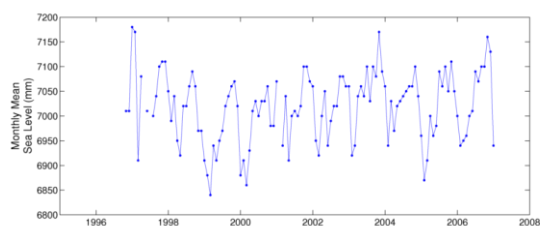
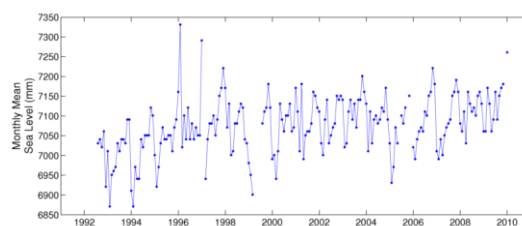
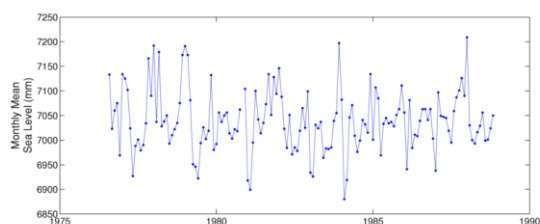
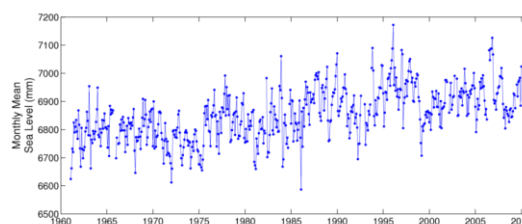
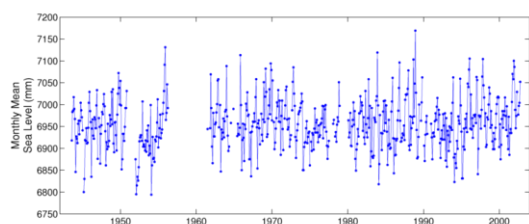
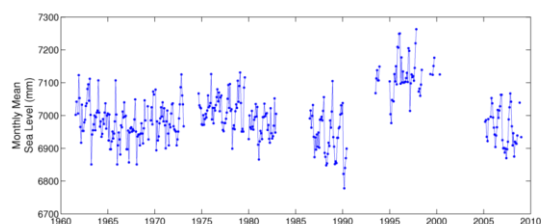
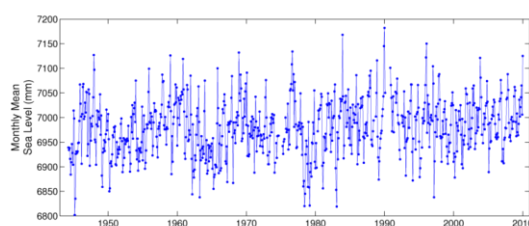
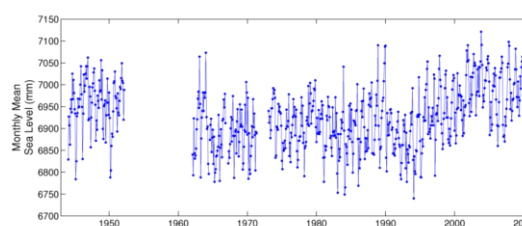
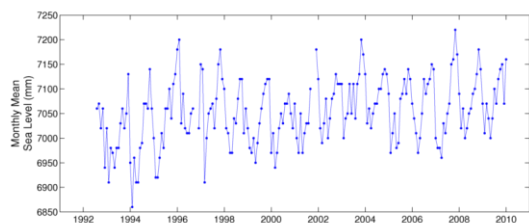
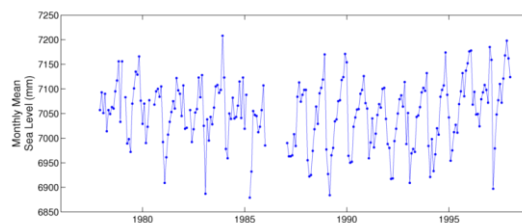


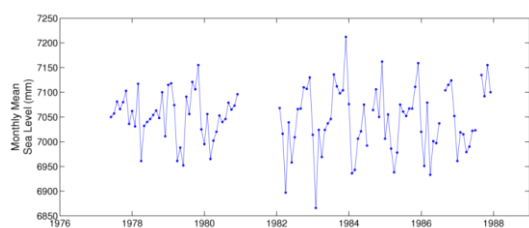
## SINES



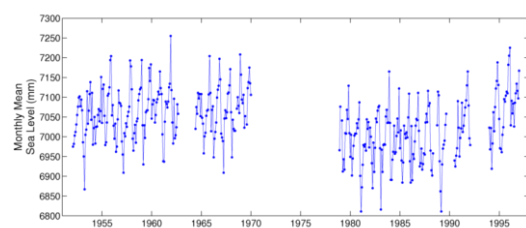
## LAGOS



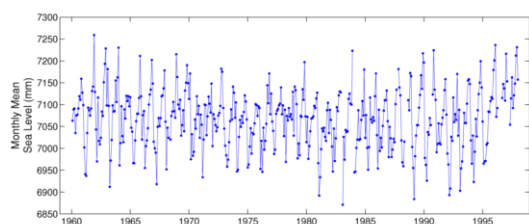
**HUELVA****BONANZA****CADIZ II Exclosa****CADIZ III****ALGECIRAS****GIBRALTAR (Exclosa)****CEUTA****MALAGA I****MALAGA II (Exclosa)****ALMERIA****CARTAGENA****ALICANTE (Exclosa)**



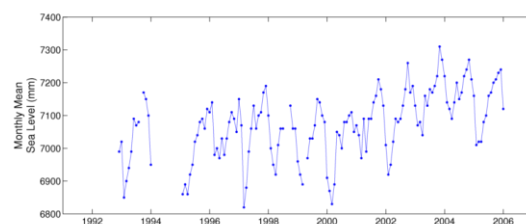
ALICANTE II



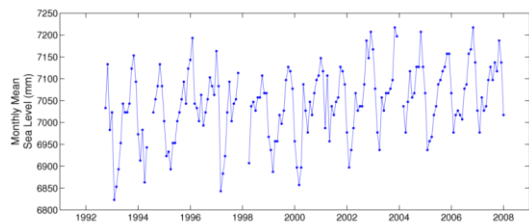
VALENCIA



BARCELONA



L'ESTARTIT



PALMA DE MALLORCA

